

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Testy trvanlivosti při obrábění litiny vzorky destiček z řezné keramiky.

Tool Life Tests at Alloys Machining by Ceramic Cutting Tools.

Student :

Bc. Josef PROCHÁZKA

Vedoucí diplomové práce :

Ing. Robert ČEP, Ph. D.

Ostrava 2009

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 12.5 2009

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odstavec 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odstavec 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 12.5.2009

.....

Bc. Josef Procházka

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

PROCHÁZKA, J. Testy trvanlivosti při obrábění litiny vzorky destiček z řezné keramiky: katedra obrábění a montáže,
Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009.
Diplomová práce, vedoucí Čep, R.

Tato diplomová práce se zabývá experimentálním stanovením trvanlivosti vyměnitelných břitových destiček z řezné keramiky.

V úvodu je práce zaměřena na přehled používaných obráběcích materiálů, jejich rozdělení a aplikační oblasti jednotlivých materiálů. Samostatná kapitola je věnována nástrojům z řezné keramiky.

Celkem bylo otestováno 10 druhů destiček na litině pro vložky válců automobilových motorů. Výzkum byl prováděn při podélném soustružení na soustruhu CMM Sliven při konstantních řezných parametrech a kritériu opotřebení $VB_{Bmax} = 0,6$ mm.

V poslední části práce jsou uvedeny naměřené výsledky, na jejichž základě je provedeno vyhodnocení měřených řezných materiálů.

Diplomová práce je doložena grafickými závislostmi.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

PROCHÁZKA, J. Tool Life Tests at Alloys Machining by Ceramic Cutting Tools: Department of cutting and assembling,
Faculty of Mechanical Engineering VŠB –Technical University of Ostrava, 2009. Diploma thesis, head: Čep, R.

This diploma thesis is dealing by experimental determination of ceramic insert's tool life.

The work is sight to summary of using cutting materials, their distribution and application areas in introduction. Special chapter is sighting of ceramics cutting tools. Together were tested 10 types of ceramic inserts at alloy for car's engines. Tests were doing during slide turning at CMM Sliven at constant cutting parameters and tool wear criteria $VB_{Bmax} = 0,6$ mm.

Measuring data and the evaluation of measured cutting materials are at last chapter.

Thesis is documented with graphic dependencies.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, ZKRATEK A JEDNOTEK.....	3
1. ÚVOD.....	5
2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY ŘEZNÉ KERAMIKY.....	6
2.1 ŘEZNÉ MATERIÁLY.....	6
2.2 HISTORIE ŘEZNÉ KERAMIKY.....	7
2.3 ROZDĚLENÍ ŘEZNÉ KERAMIKY.....	7
2.3.1 Oxidická keramika.....	8
2.3.2 Nitridická keramika.....	8
2.4 VÝCHOZÍ MATERIÁLY PRO VÝROBU ŘEZNÝCH KERAMIK.....	9
2.5 POUŽITÍ ŘEZNÉ KERAMIKY V OBLASTI OBRÁBĚNÍ.....	11
2.6 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI ŘEZNÉ KERAMIKY.....	13
2.7 VÝROBA ŘEZNÉ KERAMIKY.....	15
3. OPOTŘEBENÍ A TRVANLIVOST ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ.....	16
3.1 ZÁKLADNÍ MECHANIZMY OPOTŘEBENÍ.....	19
3.2 KLASIFIKACE TYPŮ OPOTŘEBENÍ.....	21
3.2.1 Přímé metody měření opotřebení.....	29
3.2.2 Nepřímé metody měření opotřebení.....	35
4. NÁVRH METODIKY TESTOVÁNÍ NÁSTROJŮ.....	40
4.1 OBRÁBĚCÍ STROJ.....	40
4.2 OBRÁBĚNÝ MATERIÁL.....	41
4.3 POUŽITÉ NÁSTROJE A MATERIÁLY.....	41
4.3.1 Nástrojový držák.....	41
4.3.2 Obráběcí materiály.....	43
4.4 ŘEZNÉ PARAMETRY.....	43
4.5 KRITERIUM OPOTŘEBENÍ.....	44
4.6 STANOVENÍ TRVANLIVOSTI.....	44
4.7 VÝHODNOCOVACÍ ZAŘÍZENÍ.....	45
5. TESTY VYBRANÝCH VYMĚNITELNÝCH BŘITOVÝCH DESTIČEK.....	46
SNÍMKY OPOTŘEBENÍ MATERIÁLU 571.....	49

SNÍMKY OPOTŘEBENÍ MATERIÁLU D210.....	50
SNÍMKY OPOTŘEBENÍ MATERIÁLU D230.....	51
SNÍMKY OPOTŘEBENÍ MATERIÁLU D420.....	52
SNÍMKY OPOTŘEBENÍ MATERIÁLU D460.....	53
SNÍMKY OPOTŘEBENÍ MATERIÁLU D470.....	54
SNÍMKY OPOTŘEBENÍ MATERIÁLU H_D210.	55
SNÍMKY OPOTŘEBENÍ MATERIÁLU KMS_Ti.....	56
SNÍMKY OPOTŘEBENÍ MATERIÁLU T.	57
SNÍMKY OPOTŘEBENÍ MATERIÁLU W.	58
6. DISKUZE VÝSLEDKŮ.	59
7. ZÁVĚR.	60
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.	61

Seznam použitého značení, zkratek a jednotek.

a_p	hloubka řezu	[mm]
D_o	průměr obrobku	[mm]
f	posuv	[mm]
HB	tvrdost podle Brinela	
HIP	Hot Isostatic Pressing – vysokoteplotní izostatické lisování	
HRC	tvrdost podle Rockwella	
HV	tvrdost podle Vickerse	
i_n	specifická aktivita nástroje	
I_n	aktivita nástroje	
I_{tř}	aktivita třísek	
ISO	International Organization for Standardization – Mezinárodní organizace pro normalizaci	
KB	šířka žlábků	[mm]
KF	vzdálenost žlábků od čela	[mm]
KM	střední vzdálenost žlábků	[mm]
KT	hloubka žlábků	[mm]
l₁	délka obrábění první třísky	[mm]
l₂	délka obrábění druhé třísky	[mm]
L_p	vzdálenost osy trysky od špičky nástroje	[mm]
M₁	hmotnost destičky před otupením	[g]
M₂	hmotnost destičky po otupení	[g]
m_{mat}	hmotnost opotřebovaného materiálu	[g]
M_n	zkoumané množství nástrojového materiálu	
n	otáčky vřetene	[min ⁻¹]
p	počet obrobených kusů	[ks]
Ra	parametr drsnosti – střední aritmetická úchylka profilu	[μm]
Rz	parametr drsnosti – největší výška nerovnosti daného profilu	[μm]
t	čas obrábění	[mm]
VBD	vyměnitelná břitová destička	
VB	opotřebení na hřbetě	[mm]
VBB	opotřebení přímé části ostří	[mm]
VBC	opotřebení v oblasti špičky nástroje	[mm]

VBN	opotřebení ve formě vrubu	[mm]
v_c	řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
VR	radiální opotřebení	[mm]
x_m	vzdálenost trysky od nástroje	[mm]
x_p	vzdálenost trysky od obrobku	[mm]
ΔM	úbytek hmoty	[g]
κ_r	úhel nastavení hlavního ostří	[°]
α_n	úhel hřbetu	[°]

1. Úvod.

Tato diplomová práce vznikla za účelem vyhovět poptávce firmy Saint Gobain Advanced Ceramics, s. r. o. Turnov. Je zaměřena na zkoušky trvanlivosti břitových destiček z řezné keramiky při podélném soustružení litiny 25P. Bylo testováno celkem 10 druhů řezných materiálů a sledována jejich trvanlivost při stejných řezných parametrech.

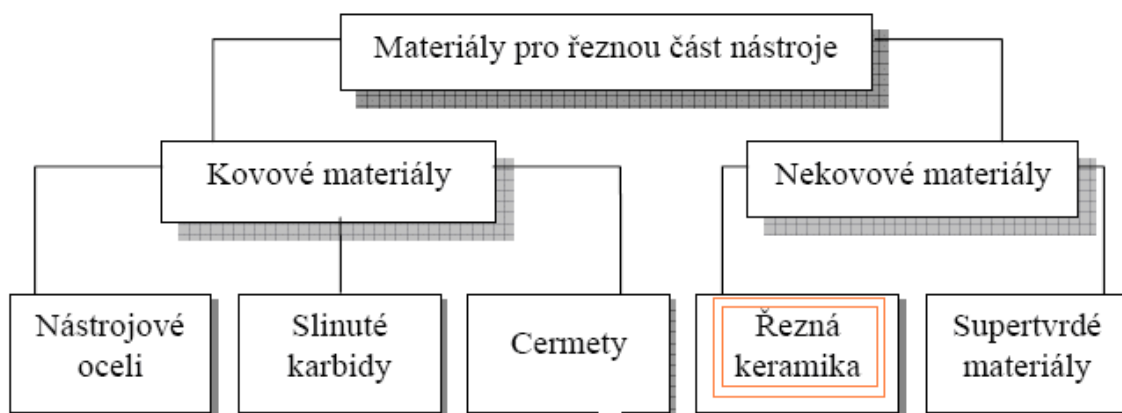
Zkoušky trvanlivosti patří k jednomu z nejzákladnějších parametrů v oblasti technologie obrábění. Úspěšná aplikace získaných výsledků v praxi výrazně zvyšuje kvalitu výroby a tím i nepřímo ovlivňuje pozici podniku v ostrém konkurenčním boji. Toto experimentální stanovení trvanlivosti může poskytnout v průběhu dalších zkoušek i další informace o procesu řezání nebo obrábění vůbec. Mechanismus opotřebení, teplota řezání při obrábění, kvalita obrobeného povrchu i samotný průběh obrábění jsou informace, se kterými řešitelský tým v průběhu zkoušek pracoval, a které kladly vysoké nároky na čas a zkušenosti týmu při posuzování jednotlivých činitelů vstupujících do procesu obrábění.

2. Úvod do problematiky řezné keramiky.

2.1 Řezné materiály.

V současné době existují řezné materiály, které umožňují optimalizaci skutečně každé operace obrábění, mezi nimi se vždy najde alespoň jeden, který určitý obrobek za určitých podmínek dokáže obrobit nejlépe [1].

Současné požadavky na zvyšování produktivity obrábění, zkracování výrobního času, zvyšování tvarové přesnosti a rozměrové tolerance, na kvalitu a integritu povrchu a též možnost opracování nových (moderních) konstrukčních materiálů, kladou důraz na nástup nových materiálů řezné části nástrojů. Zároveň dochází i k vývoji dalších prvků technologické soustavy, a to: obráběcí stroj, řídicí a monitorovací systém, přípravek a procesní médium. Kvalitu řezného nástroje ovlivňují vlastnosti materiálu řezné části nástroje, který se v současnosti rozděluje do dvou skupin (Obrázek 1.).



Obrázek 1. Rozdělení materiálů řezné části nástroje [2].

V mojí práci jsem se zaměřil na řeznou keramiku.

2.2 Historie řezné keramiky.

Počáteční pokusy s využitím keramických řezných nástrojů sahají do 20. let minulého století. Ovšem první keramický materiál na bázi Al_2O_3 použitelný pro řezný nástroj vyvinula německá firma Degussa v období II. světové války.

Aplikace byly omezeny křehkostí materiálu pouze na nepřerušovaný řez a k širšímu rozšíření nedošlo, protože technologie výroby nebyla zdaleka propracována, aby bylo možno zhotovit nástroj požadovaných vlastností.

První keramické materiály na bázi oxidu hlinitého byly úspěšně aplikovány až koncem 50. let na základě intenzivního výzkumu. Ten byl zaměřen na odstranění hlavních nedostatků (hrubozrnná struktura, nízká ohybová pevnost, nízká odolnost proti teplotním rázům). Masivnějšímu rozšíření bránil i nedostatek dostatečně výkonných strojů s potřebným výkonem a rozsahem otáček vřetene.

Na začátku 70. let byly vyvinuty keramiky typu $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$, které měly zlepšit odolnost proti vydrolování a spolehlivost keramických řezných nástrojů. Jedná se o dnes nejrozšířenější typ řezné keramiky, která se zasloužila o vstup keramických VBD na trh obráběcích nástrojů. Slinovací proces se postupně změnil z vysokoteplotního lisování na vysokoteplotní izostatické lisování (HIP), aby se snížila cena nástroje a zvýšila produktivita výroby.

Počátkem 80. let se na trh dostávají i první keramické nástroje na bázi Si_3N_4 . V polovině 80. let byly vyvinuty kompozity Al_2O_3 vyztužené vlákny – viskery. Výsledkem jsou vynikající řezné výkony těchto materiálů při obrábění superslitin [3].

2.3 Rozdělení řezné keramiky.

Řezná keramika na bázi oxidu hlinitého (Al_2O_3):

- čistá (oxidická) – 99,5% Al_2O_3 ,
- směsná – $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$,
- vyztužená – $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiC}$...

Řezná keramika na bázi nitridu křemíku (Si_3N_4):

- $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiC}$, sialony [3].

2.3.1 Oxidická keramika.

Keramika na bázi čistého oxidu hlinitého má relativně nízkou pevnost a houževnatost a také malou tepelnou vodivost. Tyto ne zrovna nejlepší vlastnosti pro obrábění kovů jsou příčinou vylamování břitů při nepříznivých podmínkách obrábění. Barva čisté keramiky lisované za studena je bílá, u keramiky lisované za tepla je šedá. Směsná keramika na bázi oxidu hlinitého získává přidáním kovové fáze vyšší odolnost proti tepelnému šoku. Kovová fáze se skládá z karbidu titaničitého a nitridu titanu. Při výrobě lisováním za tepla vznikají vyměnitelné břitové destičky černé barvy, jejichž oblast použití zahrnuje všechny operace a materiály, které lze obrábět keramikou.

Vyztužená keramika na bázi oxidu hlinitého se také nazývá zesílená viskerem – název je odvozen od vláken krystalu, kterému se říká visker. Sestávají se z karbidu křemíku a mají velmi vysokou pevnost. Účinky tohoto vyztužení jsou mimořádné. Podstatně se zvýší houževnatost, pevnost v tahu, odolnost proti tepelnému šoku a současně také tvrdost za tepla a odolnost proti opotřebení. Podíl viskeru v řezném materiálu činí cca 30%. Barva hotových destiček je zelená.

Vyvážená tvrdost, houževnatost a odolnost proti tepelnému šoku charakterizují tento druh keramiky při obrábění žárovzdorných slitin, kalené oceli, šedé litiny a zejména při obrábění přerušovaným řezem [4].

2.3.2 Nitridická keramika.

Neoxidická keramika na bázi nitridu křemíku je naprosto rozdílný materiál. Chování při tepelném šoku a houževnatosti je lepší, než u keramiky na bázi oxidu hlinitého. Při obrábění šedé litiny s velkým objemem odebíraného materiálu nemá tento řezný materiál konkurenci.

I když je obrábění šedé litiny jednoduché, přesto klade při velkém objemu odebíraného materiálu a vysokých řezných rychlostech velmi vysoké požadavky

na řezný materiál, kterými jsou: vysoká tvrdost za tepla, pevnost, houževnatost, odolnost proti tepelnému šoku a chemická stabilita.

Keramika z nitridu křemíku je dvoufázový materiál, v němž jsou krystaly nitridu křemičitého uloženy v pojivu, jeho vlastnosti jsou určovány složením.

Výroba destiček se provádí lisováním za studena a slinováním, nebo výhodnější metodou lisováním za tepla s vybrušováním tvarů [1].



Obrázek 2. Břitové destičky z řezné keramiky [5].

2.4 Výchozí materiály pro výrobu řezných keramik.

Nejvýznamnějšími výchozími materiály pro výrobu řezných keramik jsou:

oxidy – Al_2O_3 , ZrO_2 ,

nitridy – Si_3N_4 , TiN ,

karbidy – TiC , SiC .

Srovnání teploty tavení a tvrdosti keramických materiálů:

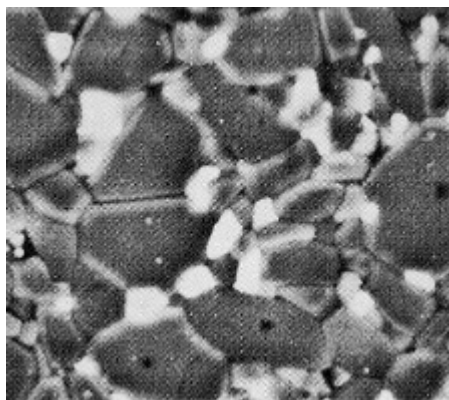
Tabulka 1. Srovnání teploty tavení a tvrdosti keramických materiálů [2].

Materiál	Teplota tavení	Tvrdost [HV]	Tvrdost [GPa]
Al_2O_3	2050	2000	18 - 23
ZrO_2	2700	-	11 - 15
Si_3N_4	1900	1000	15 - 18
SiC	2200	2500	21 - 27

Jedná se o chemicky velmi stabilní látky s vysokou tvrdostí, tlakovou pevností a odolností proti vysokým teplotám [3].

Oxid hlinitý (Al_2O_3)- je vyráběn z Bauxitu tzv. Bayerovým procesem. Čistota konečného produktu dosahuje hodnot kolem 99,9%. Postup výroby obsahuje 5 základních operací:

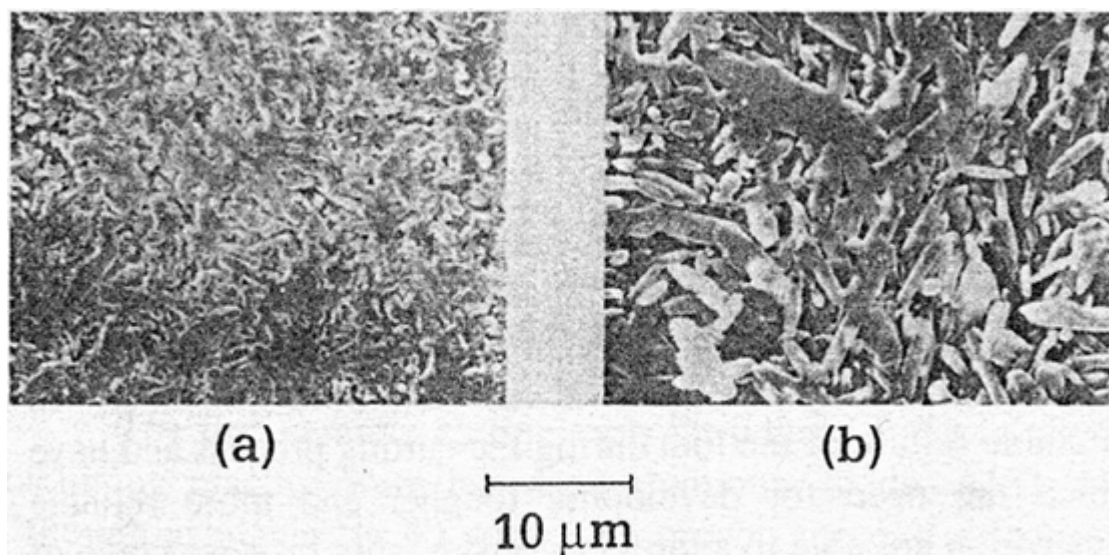
- úprava bauxitové suroviny,
- loužení,
- filtrace,
- precipitace,
- kalcinace [3].



Obrázek 3. Oxid hlinitý (Al_2O_3) [6].

Oxid zirkoničitý (ZrO_2)- z křemičitanu zirkoničitého (ZrSiO_4) některou z následujících metod:

- termický rozklad a redukce v elektrické peci,
- alkalické tavení,
- chlorace (do směsi ZrO_2 a C, která je ohřívána v šachtové peci, je přiváděn chlor),
- plazmovým hořákem [3].



Obrázek 4. Struktura nitridické keramiky Si_3N_4 [6].

Nitrid křemíku (Si_3N_4)- sloučenina ve dvou modifikacích α a β . V současné době se průmyslově využívají čtyři základní metody syntézy nitridu křemíku:

- přímá reakce prvků,
- karbotermická redukce a nitridace oxidu křemičitého,
- srážení z plynné fáze,
- teplotní rozklad diimidu křemíku [3].

2.5 Použití řezné keramiky v oblasti obrábění.

Řezná keramika patří mezi výkonné řezné materiály. Její nasazení ve strojírenské výrobě vyžaduje, mimo správné volby řezných podmínek, dodržení určitých zásad, aby mohlo být využito jejich výhodných vlastností v plné míře a nevýhodné co nejvíce potlačit. Mezi hlavní podmínky efektivního využití řezné keramiky patří:

- Vysoká tuhost systému stroj – nástroj – obrobek, zamezení kmitání jakéhokoliv druhu, které zvyšuje intenzitu opotřebení nástroje.
- Použití výkonných obráběcích strojů se širokým rozsahem posuvů a otáček a možností nastavení vysokých řezných rychlostí. Vhodná je plynulá regulace otáček.
- Výborný stav obráběcího stroje.
- Zabezpečení pevného a spolehlivého upnutí obrobku, zejména při vysokých otáčkách, kdy působí velké odstředivé síly.

- Zakrytování pracovní části obráběcího stroje.
- Výběr vhodného tvaru a velikosti břitové destičky.
- Správná volba tvaru ostří břitové destičky, velikost a sklon negativní fazetky na čele.
- Překonání nedůvěry k novému nástrojovému materiálu u technologa i pracovníka, který stroj obsluhuje [3].

Al₂O₃ -	Běžné soustružení, vrtání a drážkování litiny.
Al₂O₃ + SiCw -	Obrábění žárovzdorných slitin. Hrubování a jemnění superslitin, oceli a litiny. Přerušované řezy.
Al₂O₃ + TiC -	Soustružení tvrdé slitiny zušlechtěných ocelí do tvrdostí 64HRC na velmi jemný povrch. Běžné soustružení, vrtání a drážkování litiny. Dokončovací obrábění žárovzdorných superslitin, litiny a oceli.
Al₂O₃ + ZrO₂ -	Soustružení šedé, tvárné a kujné litiny vytvrzené na 300HB. Obrábění uhlíkové, legované a nástrojové oceli vytvrzené na 38HRC.
Sialony -	Hrubé obrábění superslitin na bázi niklu pro letecké motory a pro použití v agresivním prostředí. Řezy vyžadující vysoký posuv, rychlost nebo hloubku. Litina při vysokých rychlostech.
Si₃N₄ -	Hrubé soustružení a frézování litiny v těžkých podmínkách. Soustružení žárovzdorných slitin na bázi niklu [2].

Soustružení - Podobně jako u slinutých karbidů uvádějí jednotliví výrobci doporučené řezné podmínky i pro soustružnické práce svých keramických břitových destiček. U keramických materiálů hraje velmi důležitou roli i otázka chlazení. U většiny druhů keramických vyměnitelných břitových destiček je chlazení chladicí kapalinou výslovně zakázáno. Pro obrábění tvrdých materiálů (kalené oceli, tvrzené litiny) keramickými destičkami je nutné volit poměrně nízké hodnoty hloubky řezu a_p [7].

Frézování - V počátcích vývoje a výroby byly keramické řezné materiály doporučovány a používány výhradně pro obrábění nepřerušovaným řezem, tedy

hlavně soustružení. Postupným vývojem a zlepšováním mechanických vlastností dnes většina výrobců doporučuje i pro přerušované řezání, jako je frézování. Jednou ze základních podmínek pro použití při přerušovaném řezu je vysoká stabilita systému stroj – nástroj – obrobek, a tedy zamezení vzniku vibrací. Toho se dá úspěšně dosáhnout použitím frézovacích hlav osazených vyšším počtem břitů [7].

2.6 Základní vlastnosti řezné keramiky.

Keramické vlastnosti můžeme různě kombinovat a měnit. Požívají se v různých oblastech, mj. se často používají také pro výrobu strojírenských řezných nástrojů, kde jsou využívány následující vlastnosti:

- vysoká tvrdost,
- odolnost proti mechanickému namáhání (zejména tlakem),
- odolnost proti působení vysokých teplot (u současných nejlepších materiálů i odolnost proti náhlým změnám teploty),
- odolnost proti opotřebení, chemickým vlivům a korozi (vysoká trvanlivost a řezivost),
- nízká měrná hmotnost,
- dostupnost základních surovin z domácích zdrojů,
- poměrně nízká cena.

Keramické materiály nejsou téměř schopné plastické deformace. Chybějí jim vlastnosti typické pro kovy, a to tvárnost a houževnatost. Jsou to materiály, které mají nízkou měrnou hmotnost a vysokou teplotu tavení.

Keramika má sice vysokou pevnost a teplotní odolnost, ale i nevýhody. Je velmi křehká, jinými slovy, má nízkou houževnatost, až dvacetkrát nižší než mají konstrukční kovy. Druhou nevýhodou je špatná reprodukovatelnost vlastností. Příčinou obou závažných nedostatků keramiky je struktura tvořená vzájemně propojenými drobnými částicemi s množstvím slabých míst, defektů a pórů. Zatímco mechanické selhávání začíná uvnitř krystalových zrn pohybem dislokací, keramika se porušuje křehkou trhlinou, která se šíří vždy podél rozhraní mezi zrny.

Fyzikální a chemické aplikace - Chemická odolnost vůči kyselinám a louhům, chemická inertnost, odolnost vůči korozi a erozi, akumulární a pohlcovací schopnost, velký geometrický a měrný povrch, definovaná filtrační schopnost.

Tepelné aplikace - Odolnost vůči vysokým teplotám, stabilita tvaru při tlakovém a tahovém namáhání, i za vysokých teplot, odolnost proti náhlým změnám teploty, nízká tepelná roztažnost, vysoká nebo nízká tepelná vodivost, vysoká schopnost akumulace tepla.

Mechanické aplikace - Vysoká tvrdost, odolnost proti opotřebení, velmi dobré a stabilní kluzné vlastnosti, nepřítomnost statického náboje, nízká měrná hmotnost, vysoká přesnost tvaru, úzké rozměrové tolerance, možnost užití různých spojovacích technik.

Elektrotechnika, elektronika - Výborné izolační vlastnosti, i za vysokých teplot, vysoká dielektrická pevnost, vysoká stabilita výboje, vysoký výkon zhášení výboje, definovaná dielektrická konstanta, dobré vysokofrekvenční vlastnosti, dobré mechanické vlastnosti.

Stavebnictví - Odolnost vůči horku a mrazu, příjemnost na dotyk, hygienické vlastnosti, nepřítomnost statického náboje, chemická inertnost a stabilita, mechanická stabilita i za vyšších teplot, plynotěsnost.

Medicína - Biologická slučitelnost, chemická inertnost a stabilita, velký geometrický a měrný povrch, filtrační schopnost, zdravotní nezávadnost [3].

Tabulka 2. Střední hodnoty mechanických a fyzikálních vlastností keramiky [2].

	Čistá oxidová keramika	Směsná oxidová keramika	Nitridická keramika
Měrná hmotnost [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	4,12	4,3	3,3
Youngův modul [GPa]	380	400	320
Tvrdość [HV]	200	2250	1700
Lomová houževnatost [$\text{MPa}\cdot\text{m}^{-2}$]	5,8	5,2	7
Pevnost v ohybu [MPa]	600	600	800
Tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	28	35	45
Koef. tepelné roztažnosti [$10^{-6}\cdot\text{K}^{-1}$]	7	7,4	2,3

2.7 Výroba řezné keramiky.

Keramické materiály neobsahují žádný materiál, jehož funkcí by bylo spojení jednotlivých zrn tvrdé fáze do jednolitého tělesa. Tato skutečnost výrobu řezné keramiky znesnadňuje a klade vysoké nároky na výrobní zařízení. Podmínkou úspěšné výroby je dodržení všech předepsaných parametrů technologického postupu výroby.

Mikrostrukturu a slinovatelnost keramických materiálů je možno ovlivnit přidáním přísad. Tyto přísady v průběhu slinování vytvářejí kapalnou fázi. Tímto způsobem lze dosáhnout hustějšího uspořádání částic a rychlejšího a lepšího zhutnění výrobku. Velikost zrn jednotlivých keramických prášků a aditiv se pohybuje kolem 200nm [2].

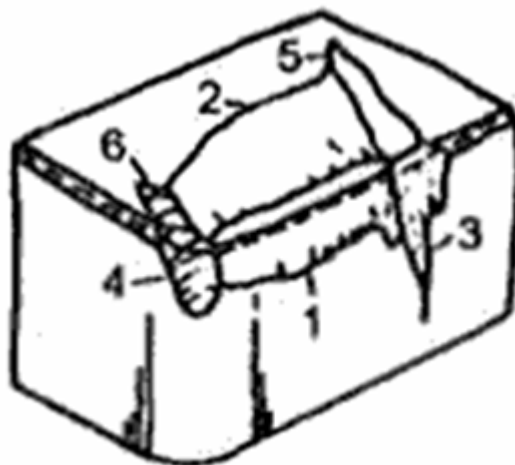
Obecný postup výroby keramických materiálů:

- příprava práškové směsi, mletí a míchání,
- tvarování a sušení,
- předslinování,
- slinování,
- tepelné zpracování,
- úpravy povrchu [2].

3. Opotřebení a trvanlivost řezných nástrojů.

Břity řezných nástrojů podléhají při obrábění opotřebení. Tomuto opotřebení jsou vystaveny až do okamžiku dosažení konce doby trvanlivosti. Trvanlivost bříty nástroje je doba, po kterou pracuje nástroj od upnutí do opotřebení bříty a počítá se v minutách. Jedná se o upotřebitelnost, při níž tento břit obrábí kov a v mezích stanovených parametry jakosti dává obrobku požadovaný tvar. Při obrábění načisto je břit VBD považován za opotřebovaný tehdy, není-li již schopen dosahovat požadované jakosti opracování povrchu. Naopak u hrubovacích operací se opotřebení vyvíjí v podstatně větších dimenzích. Nebere se příliš velký ohled na stav povrchu obrobku a přesnost rozměrů a tolerují se větší hodnoty opotřebení. V tomto případě může být doba trvanlivosti omezena tím, že břit pozbývá schopnost zajistit kontrolovaný odchod třísky, nebo opotřebení dosazuje takových hodnot, že hrozí riziko náhlého lomu destičky [1].

Velké množství tepla, které vzniká při obrábění a vyvíjí se na ploše hřbetu a čela nástroje, zatěžuje a značně namáhá materiál bříty nástroje a může vytvářet (např. u frézování) dynamický faktor v okamžiku, kdy jeden břit z materiálu vystupuje a opět do něj vniká. Procesem utváření třísky se průběžně vytváří čistý kovový povrch při vysokém tlaku a teplotě, který má sklon k chemickým reakcím nebo k difúzním procesům. Většina obráběných materiálů obsahuje tvrdé částice různého druhu. Tyto částice nezřídka dosahují tvrdosti materiálu bříty nástroje. Dochází tak k brousícímu nebo abrazivnímu efektu. Kombinací mechanických, tepelných, chemických a abrazivních faktorů dochází ke složitému zatěžování bříty nástroje. To vše se pak projevuje opotřebováním nástroje [2].

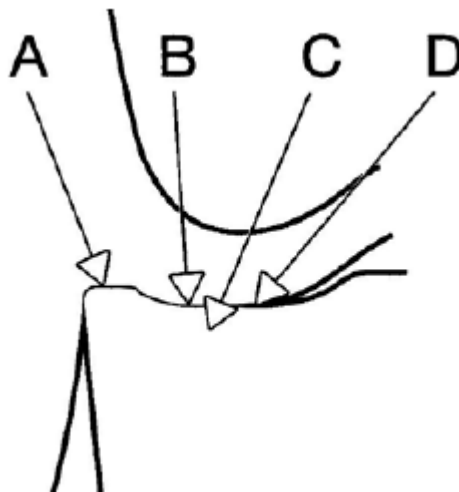


Obrázek 5. Vnější projevy opotřebení řezné části nástroje z řezné keramiky [2].

Legenda (Obrázek 5.):

- 1 - opotřebení hřbetní plochy řezné části nástroje
- 2 - kráterové opotřebení
- 3 - vrubové opotřebení (primární drážka)
- 4 - opotřebení hrotu (sekundární drážka)
- 5 - vnější opotřebení čelní plochy řezné části nástroje
- 6 - vnitřní vrub tvořený třískou

Opotřebení nástroje je produktem kombinace zatěžujících faktorů působících na břit. Trvanlivost břitu je ovlivňována celou řadou zatížení, které mají snahu změnit geometrii břitu. Opotřebení je tedy interakcí mezi nástrojem, materiálem obrobku a řeznými podmínkami. Nejdůležitější druhy opotřebení jsou vyjádřeny obrázkem č. 6.



Obrázek 6. Nejdůležitější druhy opotřebení [1].

Legenda (Obrázek 6.):

- A - mechanické,
- B - tepelné,
- C - chemické,
- D - abrazivní.

Mechanické opotřebení:

Vedle statických mechanických zatížení je ještě celá řada různých dynamických zatížení, které se odvíjejí z procesu utváření třísky. A dále pak taková, která vznikají vlivem nestejných hloubek řezu a přerušovaným řezem.

Tepelné opotřebení:

Při obrábění kovů vzniká velké množství tepla, které se vyvíjí na ploše čela a hřbetu břitové destičky. Toto tepelné zatížení značně namáhá materiál nástroje.

Chemické opotřebení:

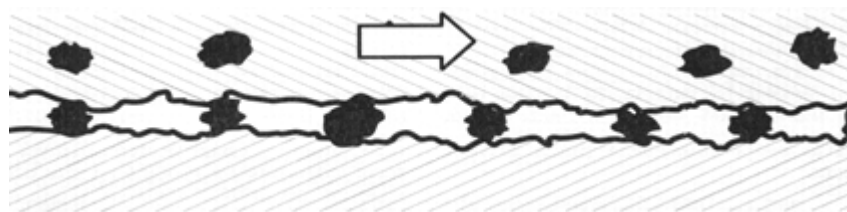
Procesem utváření třísky se při vysokém tlaku a teplotě kontinuálně vytváří čistý kovový povrch, který má sklony k chemickým reakcím, popř. k difuzním procesům.

Abrazivní opotřebení:

Většina obráběných materiálů obsahuje tvrdé částice, které se svou tvrdostí příliš neliší od materiálu břitu nástroje. Tyto částice pak vyvolávají abrazivní účinek [1].

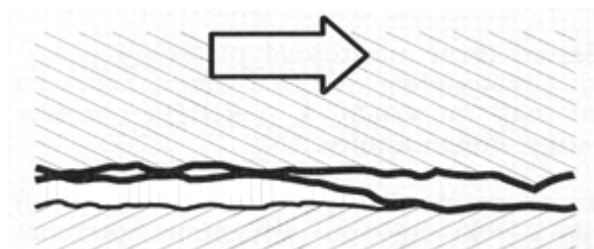
3.1 Základní mechanismy opotřebení.

- abraze, tj. brusný otěr vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje (Obrázek 7.),



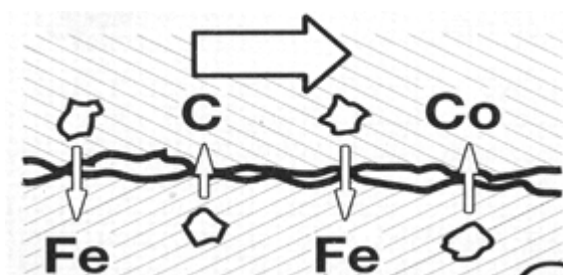
Obrázek 7. Abrazivní opotřebení [1].

- adheze, tj. vznik a okamžité následné porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovností čela a třísky, v důsledku vysokých teplot a tlaků, chemické příbuznosti materiálů a kovově čistých styčných povrchů (Obrázek 8.),



Obrázek 8. Adhezní opotřebení [1].

- difúze, tj. migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak, a z ní vyplývající vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje (Obrázek 9.),



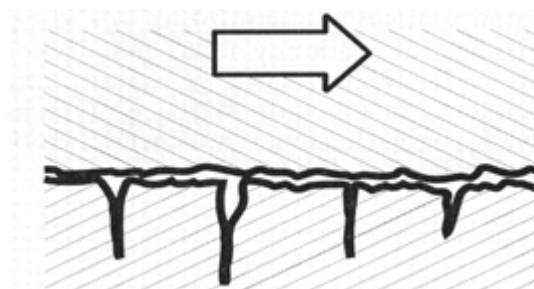
Obrázek 9. Difusní opotřebení [1].

- oxidace, tj. vznik chemických sloučenin na povrchu nástroje v důsledku přítomnosti kyslíku v okolním prostředí (Obrázek 10.),



Obrázek 10. Oxidační opotřebení [1].

- plastická deformace, tj. důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení, kumulovaného v čase, která se může ve svém nejnejpříznivějším důsledku projevit ve formě tzv. lavinového opotřebení,
- křehký lom, tj. důsledek vysokého mechanického zatížení, např. přerušovaný řez, nehomogenity a vměstky v obráběném materiálu, atd. (Obrázek 11.).



Obrázek 11. Lom statický či dynamický [1].

Abraze a adheze jsou obvykle označovány jako fyzikální mechanismy opotřebení, difúze a oxidace jako chemické, všechny působí v průběhu času plynule s tím, že časový okamžik začátku jejich působení nemusí být vždy shodný. Plastická deformace a křehký lom jsou naproti tomu mechanismy, které působí náhle, v daném okamžiku a obvykle způsobí okamžité ukončení činnosti nástroje (náhlá změna tvaru břitu nástroje, lavinové opotřebení nebo ulomení špičky). Hřbet nástroje se opotřebovává především v důsledku abraze a oxidace, čelo v důsledku adheze, difúze, abraze a oxidace. Na skutečnost, zda se nástroj bude více opotřebovávat na hřbetě nebo na čele (příp. na špičce), mají výrazný vliv i další faktory, jako je např. geometrie nástroje, druh operace (hrubování, dokončování) a v neposlední řadě i řezné podmínky (řezná rychlost, posuv, šířka záběru ostří, řezné prostředí). V podstatě lze proces obrábění sledovat tolika způsoby, kolik signálů o svém okamžitém stavu vysílá do svého okolí [8].

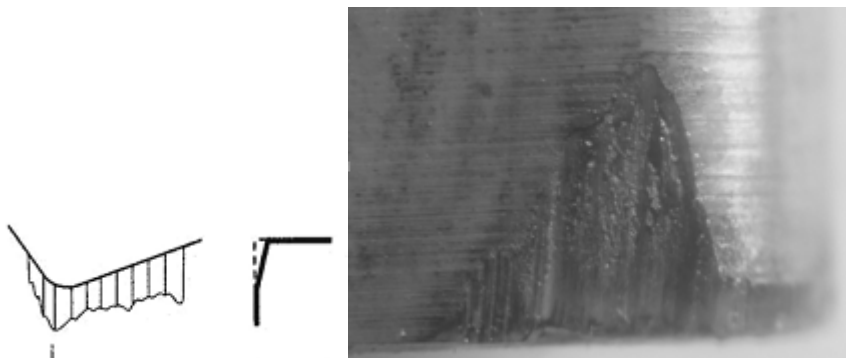
3.2 Klasifikace typů opotřebení.

Klasifikace typů opotřebení bříty nástroje byla provedena za účelem vytvoření báze pro posouzení operací obrábění, a tím i možnosti ovlivnění produktivity. Mimo to jsou pro volbu správných druhů řezných nástrojových materiálů a pro určení odpovídajících parametrů obrábění k dispozici následující kritéria obrábění:

- přesnost rozměrů,
- jakost obrobené plochy,
- kontrolovaný odchod třísky.

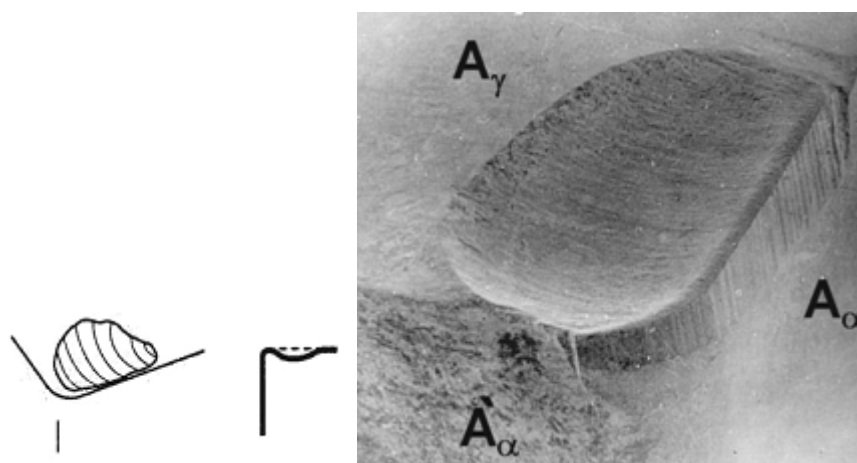
Pohled na břit při zvětšení a posouzení, jaká opotřebení jsou na něm viditelná, umožňuje kontrolovat vhodnost trvanlivosti, její spolehlivost a dokonce i možnost jejího prodloužení. Pro každý proces existuje optimální průběh opotřebení. Správný nástroj a odpovídající řezné podmínky, kvalifikovaná odborná pomoc, vlastní zkušenost, dobrá jakost materiálu obrobku a dobré podmínky pro obrábění jsou důležitými předpoklady pro vznik optimálního průběhu opotřebení [1].

Opotřebení hřbetu bříty - patří mezi abrazivní formy opotřebení a projevuje se na hřbetní ploše bříty (Obrázek 12.). Plochy hřbetu u hlavního ostří, vedlejšího ostří, poloměru špičky a na čelní fasetce jsou před utvářením, během utváření a po utváření třísky zvlášť vystaveny působení materiálu obrobku. Opotřebení hřbetu je všeobecně obvyklým typem opotřebení. Stejněměrně se zvětšující opotřebení hřbetu je často považováno za ideální. Příliš velké opotřebení hřbetu má za následek zhoršení jakosti obrobeného povrchu, nepřesnost rozměrů a narůstání tření, které vzniká změnou geometrie bříty.



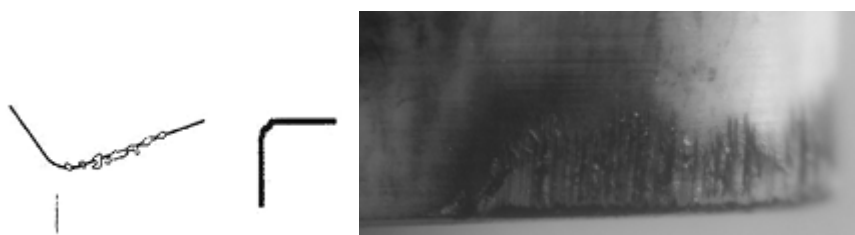
Obrázek 12. Opotřebení na hřbetu nástroje [1].

Opotřebení ve tvaru žlábků na čele - je důsledkem působení mechanismů difúzního opotřebení a abraze. Žlábek vzniká částečně úběrem rezného materiálu nástroje vyvolaného brousícím pochodem, které vzniká působením tvrdých částic obsažených v materiálu, ale zejména difúzí v místě břitu s nejvyšší teplotou, tzn. v kontaktním místě mezi třískou a materiálem břitu. Tvrdost za tepla a malá afinita mezi materiály obrobku a břitu nástroje snižují tendenci ke vzniku tohoto opotřebení. Mimořádně velké opotřebení v podobě žlábků může změnit geometrii břitu a ovlivnit tak tvar třísky, změnit směr působení řezných sil a zeslabit břit (Obrázek 13.).



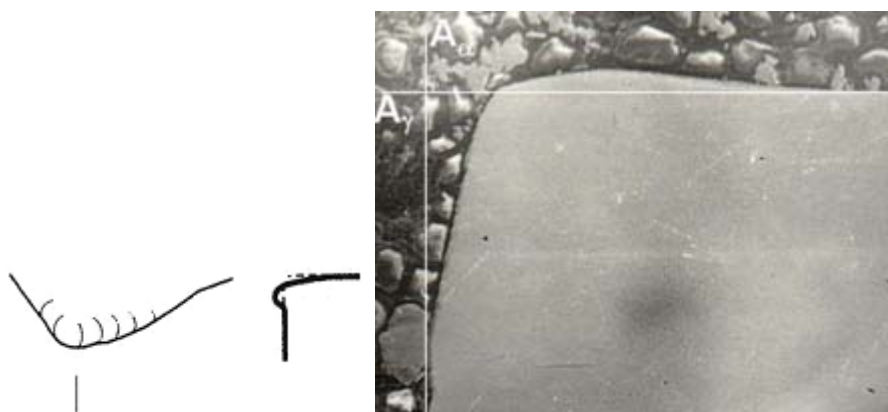
Obrázek 13. Opotřebení ve tvaru žlábků na čele [1].

Vydrolení ostří - je formou opotřebení, při níž se břit místo stejnosměrného opotřebení vydroluje (Obrázek 14.). Toto opotřebení je způsobeno špičkami zatížení a vede k tomu, že se drobné částičky rezného nástrojového materiálu začnou oddělovat z povrchu břitu. Nejčastější příčinou tohoto typu opotřebení je obrábění přerušovaným řezem. Pečlivé sledování břitu ukáže, kde je možné očekávat vydrolování. Odlupování materiálu a trhliny jsou příznaky, které upozorňují na možnost lomu břitu. Dalšími faktory způsobující tento typ opotřebení mohou být nevhodná volba rezného materiálu nebo nevhodná volba ostří.



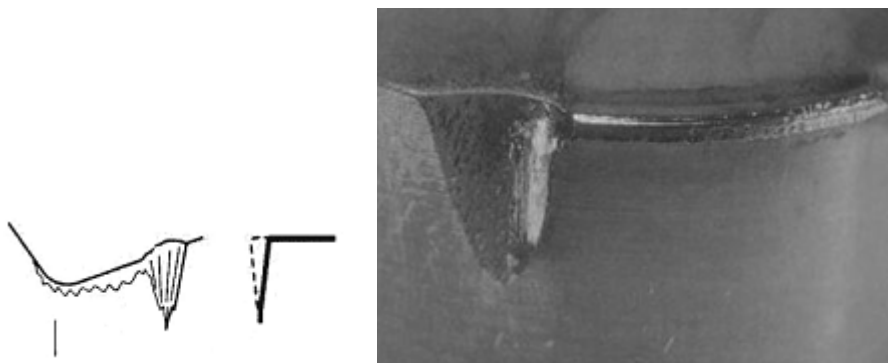
Obrázek 14. Vydrolení ostří [1].

Plastická deformace břitu - vzniká působením kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na břit (Obrázek 15.). U řezného materiálu nástroje, který těmto zatížením odolává a plasticky se nedeformuje, je tvrdost za tepla rozhodujícím faktorem. Typická deformace (vyboulení) břitu ještě více zvyšuje teploty a má za následek změnu geometrie břitu, změny v odchodu třísek a může velmi rychle dosáhnout kritického stádia. Toto opotřebení lze zmenšit použitím vhodného řezného materiálu s vyšší otěruvzdorností, správného zaoblení ostří a volbou správné geometrie.



Obrázek 15. Plastická deformace břitu [1].

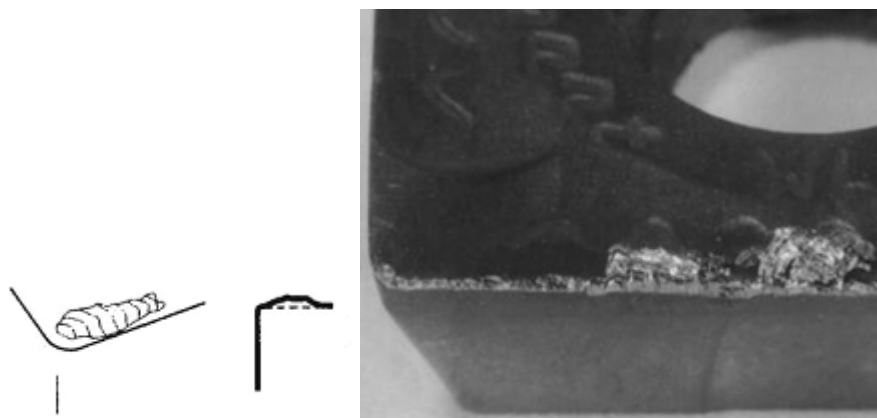
Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu - patří k typickým adhezním opotřebením. Může však stejně dobře souviset s jevem oxidačního opotřebení. Vrubu vznikají v místě kontaktu břitu s bokem třísky (Obrázek 16.). Toto opotřebení se omezuje přesně na to místo, kudy proniká vzduch do oblasti obrábění. Opotřebení ve tvaru vrubu na vedlejším hřbetu břitu má mechanické příčiny. Jejich původcem jsou tvrdé částice materiálu obrobku. Mimořádně velké opotřebení ve tvaru vrubu ovlivňuje utváření třísky a může vést k lomu destičky.



Obrázek 16. Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu [1].

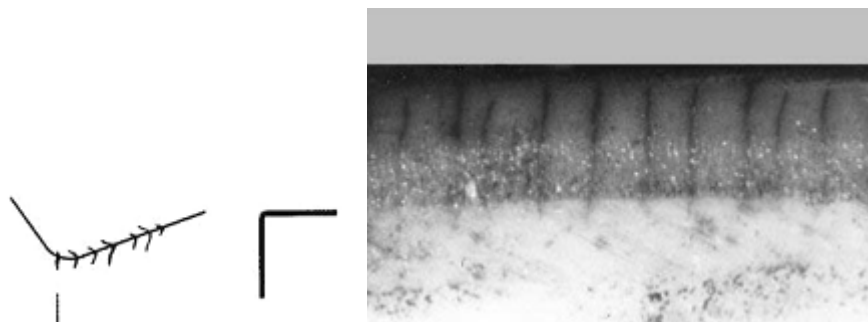
Tvoření nárůstku - je v převážné většině případů fenoménem, vztahující se k teplotám a rezným rychlostem. Může však být způsobena i odlupováním vrstev v místě břitu nebo jinými formami opotřebení. Mimo změny geometrie břitu působí tato forma opotřebení negativně, protože se mohou částice materiálu odlomit (Obrázek 17.). Afinita břitu k materiálu hraje v tomto případě rozhodující roli. Nízké teploty a vysoké tlaky vyvolávají mezi materiálem třísky a čelem nástroje efekt svařování.

Velká část moderních způsobů obrábění probíhá nad oblastí tvorby nárůstků a mnohé moderní rezné materiály nemají při správném použití k této formě opotřebení sklony. Prvním negativním důsledkem tvorby nárůstku je zhoršená jakost obrobeného povrchu. Nadměrná tvorba nárůstků může vést až k lomu VBD.



Obrázek 17. Tvoření nárůstku na hřbetě [1].

Vznik hřebenových trhlinek na ostří - je formou únavového opotřebení, které vzniká tepelným šokem. Zvláště změna teplot při frézování často vede k tomuto druhu opotřebení. Trhlinky se tvoří kolmo na ostří (Obrázek 18.). Přitom se mohou částice rezného materiálu mezi jednotlivými trhlinkami vylamovat a vyvolat tak náhlý lom břitu. Změnou tloušťky třísky se při obrábění změní rovněž teploty. Použití chladících kapalin se nedoporučuje, protože zvyšuje rozdíl teplot při záběru břitu do materiálu obrobku a při výstupu z něj.



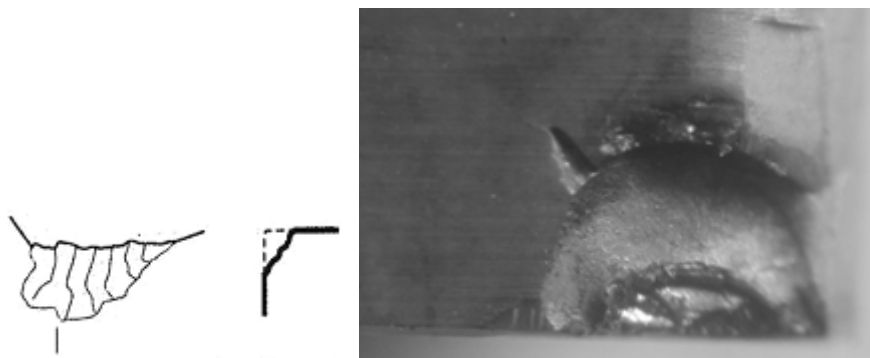
Obrázek 18. Vznik hřebenových trhlinek na ostří [1].

Únavový lom - je typickým následkem mimořádně velkých změn velikosti řezných sil. Tento druh lomu vzniká vlivem součtu neustále se měnících různých zatížení, kdy působení jednotlivých zatížení není dostatečně intenzivní, aby mělo za následek lom. Způsob vřezávání nástroje do materiálu obrobku a změna velikosti a směru působení řezné síly mohou být pro pevnost a houževnatost VBD příliš náročné. Lomové plochy probíhají paralelně s ostřím.



Obrázek 19. Únavový lom [1].

Lom břítu nástroje - je osudným koncem každého břítu (Obrázek 20.). Totální lom je často velmi nebezpečný a mělo by se mu za každých okolností zabránit. Lom břítu nástroje je nutné v každém případě považovat za konec trvanlivosti. Změny geometrie, oslabení břítu, nárůst teplot a sil mohou vést ke značným škodám. Křehký lom může být způsoben různými faktory. Velmi často je zvolený materiál břítu málo houževnatý na to, aby mohl zvládnout všechny požadavky na obrábění.



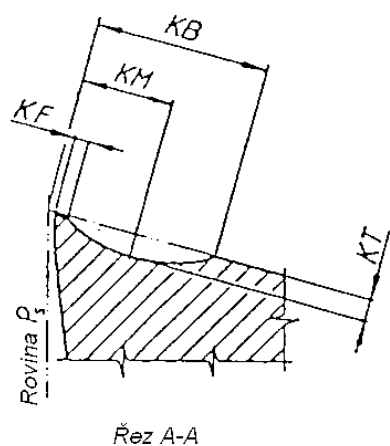
Obrázek 20. Lom břitu nástroje [1].

Uvedl jsem nejdůležitější formy opotřebení. Ne všechny případy lze považovat za formu pravého opotřebení. Je však nutné na ně nahlížet jako na příčinu, způsobující rychlý lom destičky, a proto se jí musí bezpodmínečně zabránit. Vyvážené opotřebení zajišťuje optimální trvanlivost, a potom je možné použít břit bezpečně, spolehlivě a s opakovatelnou přesností [1].

Pochopení mechanismů opotřebení a analyzování typů opotřebení vedou ke správné volbě rezných nástrojových materiálů, geometrií břitů, podmínek obrábění a rovněž materiálů obrobků. S dobrou znalostí mechanismů a typů opotřebení se snadno volí výkonné rezné materiály, správná geometrie břitu a efektivní podmínky obrábění. Toto má za následek optimální způsoby obrábění z hlediska nákladů.

Otupení (opotřebení) břitu obráběcího nástroje lze určovat dle řady autorů. Norma ISO 3685 uvádí následující formy (Obrázek 21.) opotřebení s jednotlivými charakteristikami.

Pro měření opotřebení nástrojů je hlavní ostří rozděleno do 4 oblastí, které jsou zobrazeny na obrázku. Oblast C je poloměr ostří, oblast B je přímá část ostří mezi oblastmi C a A, oblast A je čtvrtina délky opotřebení nejvíce vzdálená od radiusu nástroje a oblast N je mimo kontakt nástroje a obrobku přibližně 1 - 2 mm za hlavním ostřím nástroje [9]. Po nasazení nového nebo přeastřeného nástroje dochází k jeho postupnému opotřebování (Obrázek 22.).



VB - opotřebení na hřbetě

VB_C - opotřebení v oblasti špičky nástroje

VB_N - opotřebení ve formě vrubu

VB_B - opotřebení přímé části ostří (průměrné)

VB_{Bmax} - opotřebení maximální

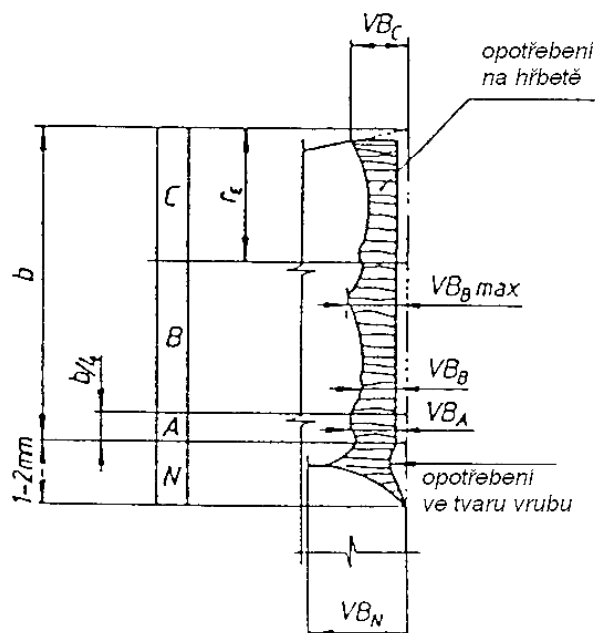
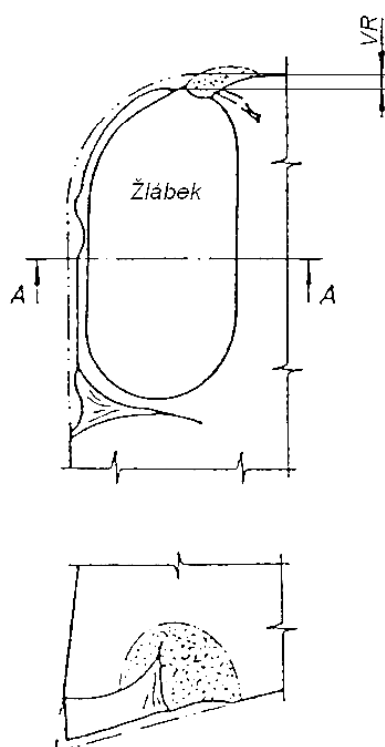
KT - hloubka žlábků

KF - vzdálenost žlábků od čela

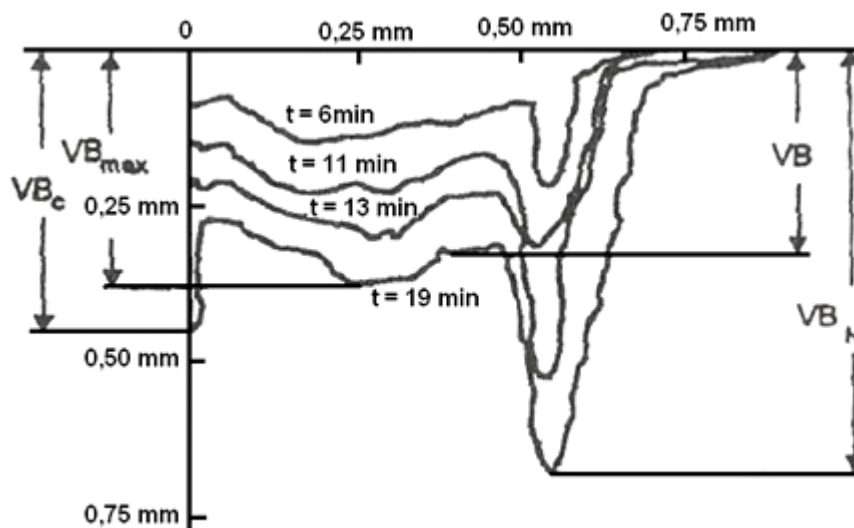
KM - střední vzdálenost žlábků

KB - šířka žlábků

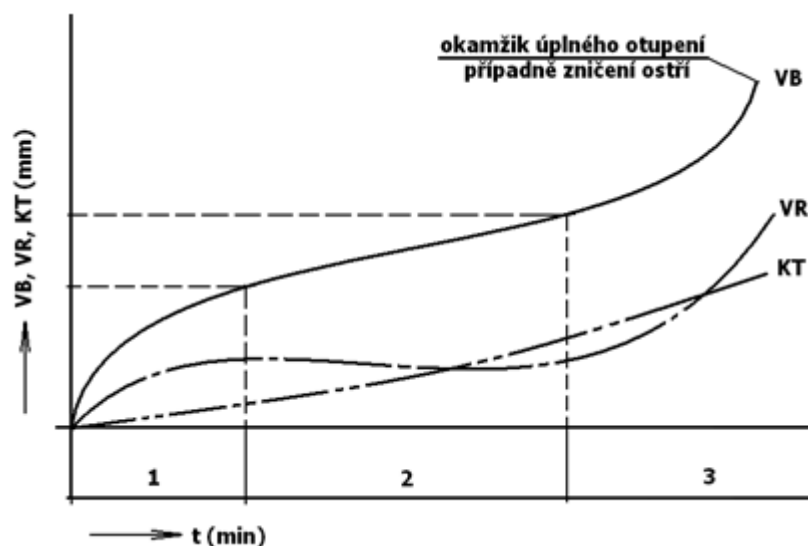
VR - radiální opotřebení



Obrázek 21. Klasifikace opotřebení obráběcích nástrojů [3].



Obrázek 22. Časová mapa opotřebení [9].



Obrázek 23. Typické průběhy opotřebení VB, VR a KT v závislosti na době řezání [1].

Legenda (Obrázek 23.):

- 1 – Oblast zrychleného záběhového opotřebení. Obecně souvisí se záběhem nástroje a je způsobeno vysokým měrným tlakem na vrcholcích nerovností nástroje.
- 2 – Oblast lineárního opotřebení. Dochází k lineárnímu nárůstu opotřebení a intenzita je konstantní.
- 3 – Oblast zrychleného nadměrného opotřebení. Je to obvykle spojeno s limitní teplotou řezání a poklesem tvrdosti nástroje, nastává velmi rychlé, většinou lavinovité opotřebení.

Experimentální studium opotřebení a otupování bříty je základem pro určení empirických údajů pro optimalizaci řezných parametrů, resp. trvanlivosti bříty. Významná část výzkumu byla v poslední době zaměřena přímo na monitorování a měření opotřebení nástroje, protože stav výsledného obrobku plně závisí na stavu samotného nástroje. Důvodem pro tento výzkum je zavádění automatizovaných pružných výrobních systémů a adaptivní kontroly obráběcích strojů. Nevýhodou měření některých metod je nepříznivě ovlivněna jednou z následujících negativních stránek, které musí být překlenuty [1]:

- odchod třísek z místa řezu (navíjení na obrobek i nástroj, lámání, zničení nebo poškození snímače),
- procesní kapalinou,
- vibracemi a chvěním stroje,
- dobou odezvy, která bývá poměrně dlouhá,
- nízká citlivost a měnící se fyzikální vlastnosti materiálu nástroje a obrobku,
- metody měření nejsou aplikovatelné pro měnící se podmínky řezání.

Pro zjišťování velikosti opotřebení se používají metody přímé a nepřímé.

3.2.1 Přímé metody měření opotřebení.

Přímé metody je těžké aplikovat v důsledku toho, že otupující se plochy jsou nedostupné pro měřicí přístroje. Pak je nutné obrábění přerušit, což ovlivňuje charakter otupení v dalších etapách experimentu. Krom toho se ve většině případů nástroj snímá z nožového držáku, a to přináší změny podmínek obrábění při dalším upnutí a ustavení. **Mezi přímé metody patří:**

- metoda váhová (hmotnostní)
- metoda radioaktivních izotopů (radioizotopová)
- metoda mikrometrická
- metoda optická (stínová)
- metoda nanesené odporové vrstvy
- metoda pneumatická

Jako nejjednodušší se jeví měření opotřebení při broušení, kdy stanovit úbytek brusného kotouče většinou nečiní velké problémy. Obvykle se měří vzdálenost obrobené plochy od osy kotouče [10]. U ostatních technologií je měření složitější a

proto byla vyvinuta řada metod, které jsou většinou složité a nákladné, případně mají i omezené použití.

Váhová metoda - jako míru opotřebení zde bereme úbytek hmotnosti řezného břitu. Tuto metodu nelze použít přímo během procesu obrábění na obráběcím stroji, ale je poměrně přesná a váhový rozdíl určuje míru opotřebení. Nevýhodou je pokud se při obrábění tvoří nárůstek. Potom zůstává část břitu ulpěná na destičce a znemožňuje přesné určení hmotnostního úbytku na nástroji. Lze ji použít téměř výhradně u nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami se zřetelem na malé úbytky hmoty při otupování nástroje.

$$\Delta M = M_1 - M_2 \quad (\text{g})$$

ΔM – úbytek hmoty (g),

M_1 – hmotnost destičky před otupením (g),

M_2 – hmotnost destičky po otupení (g).

Metoda radioaktivních izotopů (radioizotopová) - je nejcitlivější a nejpřesnější metoda určování váhového úbytku destičky v závislosti na čase. Umožňuje určit váhové úbytku v řádech až 10–3 mg [11]. Využívá toho, že největší část opotřebovaného materiálu nástroje odchází třískou a jen zanedbatelné množství opotřebovaného nástrojového materiálu zůstává na obrobené ploše a neobrobené ploše místa řezu. Zcela minimální část materiálu nástroje odchází do ovzduší.

Radioaktivním článkem je materiál nástroje. Aktivaci nástroje lze dosáhnout dvěma způsoby:

- Zavedením radioizotopu již při hutnickém procesu. Potom lze přesně stanovit specifickou aktivitu nástrojového materiálu a změnu aktivity v průběhu času.
- Ozářením hotového nástroje proudem neutronů v reaktoru. Vznikne tak směs radioizotopových prvků tvořící nástrojový materiál.

Postup měření je následující: Za daných řezných podmínek se odebere stanovené množství třísek aktivním nástrojem. Z obrobené a neobrobené vrstvy plochy řezu se odebere tenká vrstvy neaktivním nástrojem. Oba vzorky třísek se vloží do měřicího bloku, který se skládá ze zkumavek a Geiger-Müllerových nebo scintilačních počítačů [11]. Ty jsou zapojeny na indikační zařízení skládající se ze zdroje vysokého napětí a číslicového reduktoru. Na základě aktivity třísek litř (počet impulzů za minutu) je možné stanovit množství nástrojového materiálu, který ulpěl

na třísece, ploše řezu a obrobené ploše. Pro stanovení váhového úbytku nástroje je nutné znát specifickou aktivitu v impulsech za minutu stanovenou stejným způsobem jako aktivita třísek podle [11].

$$i_n = \frac{I_n}{M_n}$$

i_n – specifická aktivita nástroje,

I_n – aktivita nástroje,

M_n – zkoumané množství nástrojového materiálu.

Hmotnost opotřebovaného materiálu nástroje se potom stanoví podle [11]:

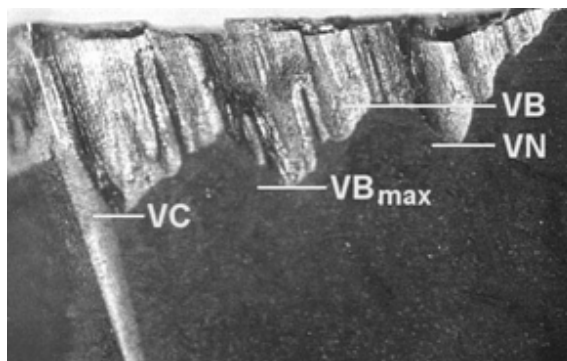
$$m_{mat} = \frac{I_{tr}}{i_n} \quad (g)$$

m_{mat} – hmotnost opotřebovaného materiálu,

I_{tr} – aktivita třísek.

Tato metoda představuje určité zdravotní riziko, a proto je při práci a manipulaci nutné dodržet přísná bezpečnostní opatření, např. používat rukavice, manipulátory a olověné zástěry, desky.

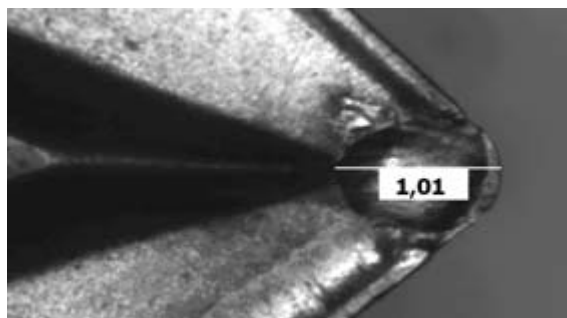
Mikrometrická metoda - velikost opotřebení je určována přímým měřením lineárních rozměrů. Zjišťujeme ji nejčastěji dílenskými mikroskopy s křížovým stolem. Hloubku žlábků měříme číselníkovými úchylkoměry, komparátory, a pod. (Obrázek 24.). Tuto metodu nelze použít přímo in real time při obrábění.



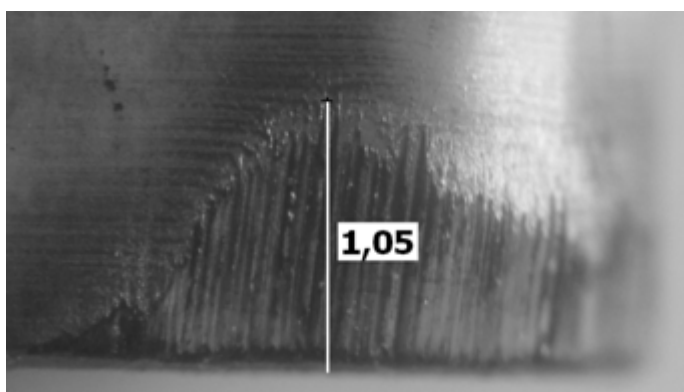
Obrázek 24. Příklad opotřebení na hřbetě nástroje [12].

Některé software dovolují vyhodnocovat velikost opotřebení přímo on-line na mikroskopu. Takovým příkladem je např. IMPOR BASIC. Nejprve je nutné

zkalibrovat optiku na dané zvětšení, a potom lze měřit přímo hodnoty opotřebení a zaznamenávat kóty do obrazu, který lze potom uložit (Obrázek 25. a 26.).

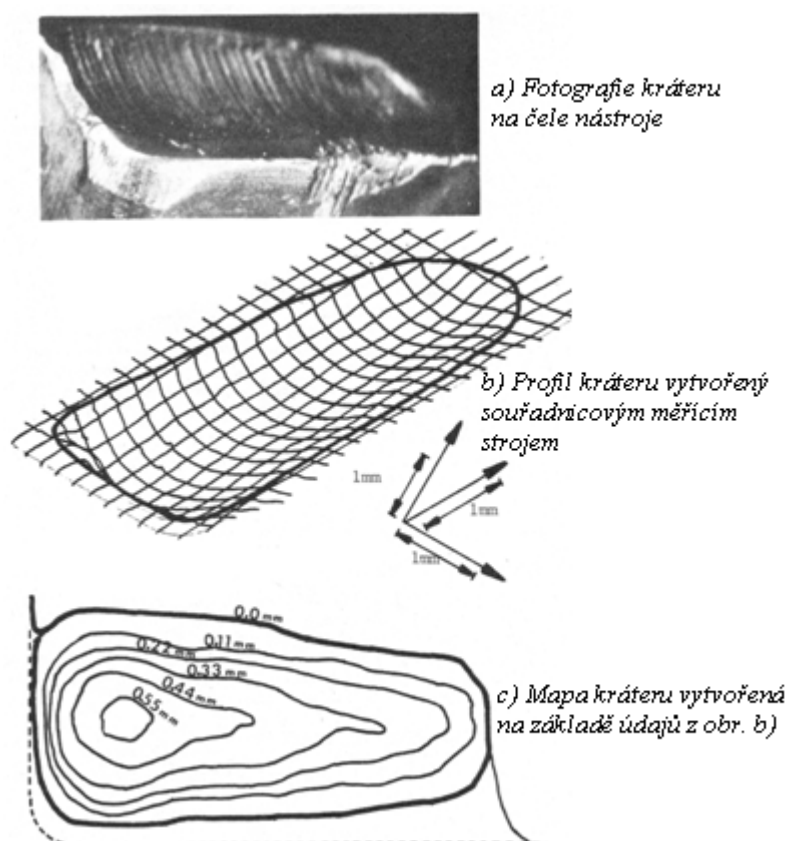


Obrázek 25. Měření opotřebení na čele KB pomocí software IMPOR [1].



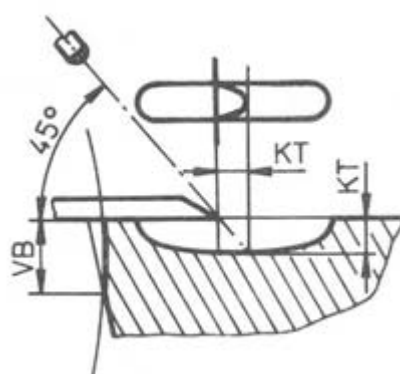
Obrázek 26. Měření opotřebení na hřbetě VB_{Bmax} pomocí software IMPOR [1].

Také je možné využít 3D souřadnicové stroje na vytvoření skutečného obrazu opotřebení [13]. Na obrázku 27 je příklad takového měření. Tato metoda umožňuje vytvořit reálný trojrozměrný obraz a je vhodná především pro měření opotřebení na čele nástroje. Na základě údajů je možné potom vytvořit charakteristickou mapu opotřebení, a z ní odečíst parametry opotřebení jako KT, KM a podobně.



Obrázek 27. Příklad opotřebení na čele nástroje, profilu kráteru a jeho mapy [13].

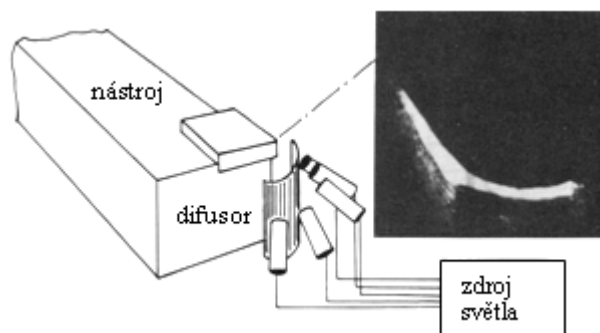
Optická (stínová) metoda - slouží k měření hloubky žlábků. Umístíme-li ostrou hranu na čelo a osvětlíme ji paprskem světla pod úhlem 45° , je vzdálenost tečny ke stínu rovna hloubce žlábků KT (Obrázek 28.).



Obrázek 28. Schéma měření optickou metodou [14].

Další metodou, jenž využívá na měření opotřebení vytváření stínů je metoda založená na měření opotřebení na čele nástroje. Na čele nástroje je difusorem (Obrázek 29.) vytvořena charakteristická mřížka, která je snímána prostřednictvím

kamery, přičemž deformace mřížky souvisí s vytvářením kráteru na čele nástroje (Obrázek 30.). Na základě obrazu z kamery je možné vytvořit skutečný trojrozměrný obraz opotřebení čela nástroje.



Obrázek 29. Způsob osvětlení čela nástroje [15].



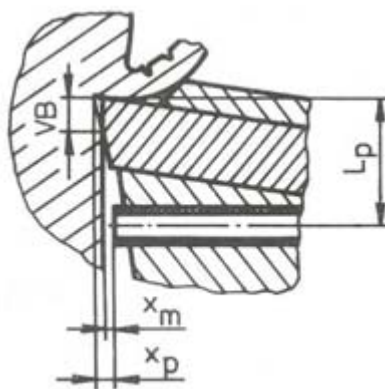
a) opotřebení na čele nástroje

b) světelný obraz opotřebení

Obrázek 30. Porovnání opotřebení na čele nástroje a světelného obrazu opotřebení [15].

Metoda nanesené odporové vrstvy - opotřebení nástroje může být měřeno snížením nebo zvýšením elektrického odporu. Je to v podstatě vytvoření odporového obvodu na hřbetu nástroje. Nevýhodou této metody je ovlivnění snímače odchodem třísky, změnou teploty a chladicí kapalinou [8].

Pneumatická metoda - je poměrně spolehlivá a konstrukčně jednoduchá. Měření úbytku vyměnitelné břitové destičky ve směru kolmém k ploše řezu nebo ve směru radiálním. Princip měření je na obrázku 31.



Obrázek 31. Princip měření pneumatickou metodou [14].

Geometrické poměry lze odvodit s uvažováním vlivu drsnosti na velikost měřené hodnoty opotřebení pro nůž s $\kappa_r = 90^\circ$ podle [14]:

$$VB = VB_o + K_m \cdot VB_o^{0,81}$$

$$VB_o = \left(x_p - \frac{L_p \cdot f}{\pi \cdot D_o} - x_m \right) \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_n} [\text{mm}]$$

- K_m – konstanta daná konstrukcí měřidla (určuje se empiricky),
- x_p – vzdálenost trysky od obrobku (Obrázek 31.) (mm),
- x_m – vzdálenost trysky od nástroje (Obrázek 31.) (mm),
- L_p – vzdálenost osy trysky od špičky nástroje (mm),
- f – posuv (mm),
- D_o – průměr obrobku (mm),
- α_n – úhel hřbetu ($^\circ$).

Hodnota x_m se určuje pro tlak vzduchu změřený z cejchovní křivky daného měřidla.

3.2.2 Nepřímé metody měření opotřebení.

Nepřímé metody se opírají o některé znaky, které proces opotřebování doprovází a provádí se přímo při procesu řezání. Všechny tyto metody jsou pouze přibližné. Patří sem [1]:

- vznik lesklého proužku na povrchu obrobku,
- vzrůst složek řezné síly,
- zvýšení výkonu řezání,

- zvýšení teploty řezání,
- vznik chvění nebo nežádoucího doprovodného zvuku,
- změna barvy a tvaru třísky,
- změna rozměrů obrobku,
- zhoršení drsnosti povrchu,
- emise signálů v pásmu ultrazvuku (akustická emise).

Optické metody – jeví se jako slibné, ovšem spolehlivost může při praktickém použití činit velké problémy.

Metoda založená na odrazu světla využívá určité množství světla ve světelném paprsku, které dopadá na ostří nástroje. Charakteristika odraženého světla pak závisí na stavu opotřebení povrchu nástroje [8]. Tato metoda je jednoduchá a dá se použít pro frézování a broušení.

Metoda zpracování odraženého paprsku založená na optické Fourierově transformaci k měření opotřebení povrchu brusného kotouče. Optický obrazec nese několik informací (šířku odlesku poškozených zrn, plochu poškozených zrn, velikost a počet zrn). Stav brusného kotouče lze určit v reálném čase ze střední plochy odlesku poškozených zrn.

Metoda využívající televizní kamery je určena především pro soustružení. Nástroj se po pracovním cyklu přemístí do testovací polohy před televizní kameru. Sejmутý obraz je analyzován pomocí mikroprocesoru tak, aby poskytl informace o poškození a velikosti opotřebení [8]. Nástroj je postupně osvětčován ze 4 stran (pod různými úhly), aby bylo možné zhotovit 3D obraz opotřebení nástroje. Z odlesků a vržených stínů jsou pak vypočteny skutečné rozměry opotřebení. Takto lze hlídat, pokud zadáme předem kritéria, dovolené opotřebení nástroje.

Měření pomocí síly řezání a krouticího momentu - využívá skutečnost, že s rostoucí velikostí opotřebení roste obvykle i řezný odpor. Podstatou měření jednotlivých složek řezné síly a krouticího momentu je měření deformací, ke kterým dochází v soustavě stroj – nástroj – obrobek – přípravek během obrábění. Obě tyto veličiny lze měřit pomocí dynamometrů a krouticí moment též na vřeteníku.

Měření sil pomocí dynamometrů je pravděpodobně jednou z nejrozšířenějších veličin ve strojírenské výrobě. Pro měření osově síly lze použít

tenzometry umístěné v kroužcích na ložiskách posuvových šroubů. Metoda je použitelná pro soustružení nebo vrtání umístěním snímacích kroužků do vřeteníku stroje.

Metoda měřící dynamickou složku řezné síly je zaměřena na spektrální analýzu síly. Hledá se určitá závislost mezi opotřebením nástroje a rozmístěním piků nebo amplitud dynamické složky síly řezání [8].

Měření výkonu slouží k určení řezných sil pomocí wattmetru nebo pomocí měření proudu. Metoda je málo citlivá na změny při kontinuálním opotřebení nástroje a je vhodná spíše pro určení katastrofického opotřebení nástroje.

Měření opotřebení při detekci mezery mezi nástrojem a obrobkem- je založeno na změně vzdálenosti mezi obráběným povrchem a bodem na ostří nebo držáku nástroje.

Metody dotykové využívají zde mechanického kontaktu s obráběným povrchem. Pomocí elektrického mikrometru, kdy je mechanický dotyk v kontaktu s obráběným povrchem ze strany ostří nástroje. Se zvětšujícím se opotřebením se dotyk přemísťuje a výstup z měniče dává údaje o opotřebení.

Měření využívající vířivých proudů, v tomto případě je mechanický dotyk vyroben z karbidu wolframu (pro svou velkou otěruvzdornost).

Metody bezkontaktní

Pneumatická – využívá pneumatického snímače, který měří vzdálenost mezi tryskou, umístěnou pod ostřím a obráběným povrchem. Výhodou je, že stlačený povrch se očistí od procesní kapaliny.

Metoda ultrazvukového mikrometru – využívá času průchodu ultrazvukového pulsu vyslaného z vysílače, odraženého od obráběného povrchu a registrovaného přijímačem [8].

Metoda optického mikrometru – paprsek HeNe laseru je zaměřen na obrobený povrch pod určitým úhlem se odráží a je registrován fotodetektorem. Změna od nastaveného úhlu je proporcionální opotřebení nástroje [8].

Kapacitní metoda - mezi obrobek a nástroj se vkládá kovová destička. Při zapojení do jednosměrného napětí se vytvoří kondenzátor s konstantní kapacitou mezi nástrojem a destičkou a současně, protože nástroj a obrobek jsou vodivě spojeny třískou, kondenzátor mezi destičkou a obrobkem. Kapacita se mění v závislosti na změně rozměru obrobku.

Měření prostřednictvím vibrací - spočívá na korelaci mezi vibracemi obráběcího stroje a opotřebením nástroje. Úspěšně byla aplikována pouze v laboratoři.

Pomocí akcelerometru - snímač tvoří většinou piezoelektrický akcelerometr snímající vibrace a samobuzené kmity. Nevýhodou je ovlivňování monitorovaného stroje okolními vibracemi a hlukem. Pokud změříme vertikální vibrace, lze z amplitudy nalézt limitní opotřebením nástroje. Pokud frekvence rozdělíme do diskrétních pásem, je možné analýzou získat spojitost mezi opotřebením nástroje a spektrem. Z modelování vibrací z akcelerometru lze registrovat signál citlivý na opotřebením umístěním snímače na držák nástroje.

Metoda využívající kyvadlo - opotřebením nástroje je oceňováno útlumem vibrací impulsně generovaných úderem kyvadlového kladívka. Vibrace jsou snímány tenzometry umístěnými na držáku nože. Výhodou je, že tato metoda není závislá na řezných podmínkách.

Metoda využívající kolísání otáček vřetene - opotřebením nástroje je identifikováno prostřednictvím oscilace řezné rychlosti, nebo otáček vřetene. Umožňuje identifikovat především lom nástroje na základě charakteristických projevů v signále případně frekvenčním spektrogramu.

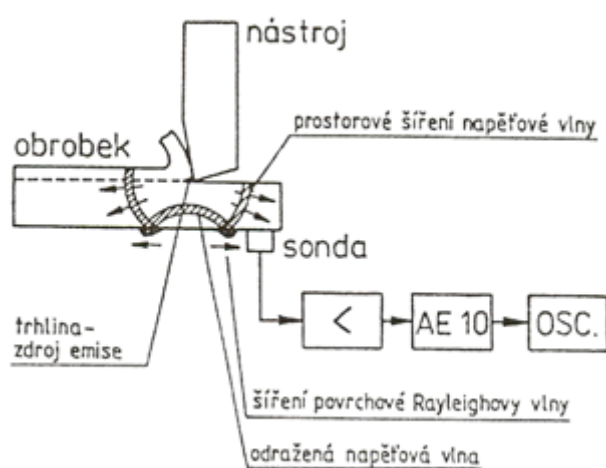
Měření zvuku:

Pomocí akcelerometru - umístěného v blízkosti držáku jsou snímány zvukové vibrace od tření hřbetu nástroje. Získané frekvence jsou rozděleny na vysoké a nízké a jejich poměr poskytuje informaci o opotřebením nástroje [8].

Pomocí mikrofону - kdy jsou zvuky sbírány a analyzovány metodou spektrální analýzy. Na spektru se s růstem opotřebením začínou objevovat nárůstky amplitud některých frekvencí.

Měření akustické emise - jsou registrovány a vyhodnocovány ultrazvukové povrchové napěťové vlny, které nesou informaci o procesu probíhající v kořeni třísky. Výhodou je jednoduché umístění snímače (např. do trysky přívodu řezné kapaliny [8]). Je to jedna z perspektivních metod a má předpoklady použití ve

výrobní praxi. Ovšem má svá ohraničení (Obrázek 32.).



Obrázek 32. Schéma experimentálního zařízení na měření akustických emisí [8].

4. Návrh metodiky testování nástrojů.

Testy byly provedeny pro vyměnitelné břitové destičky, které dodal zadavatel. Jako kritérium opotřebení, v souladu s normou ISO 3685, bylo zvoleno $VB_{Bmax} = 0,6 \text{ mm}$ (Obrázek 21.). Pokud bylo obrobena 30 vložek a nebylo dosaženo hodnoty kritického opotřebení, byly testy zastaveny. Potom byl celkový počet obrobených vložek (trvanlivost břitu) aproximován. Na mikroskopu byla vyfotografována destička vždy po **1., 5. 10., 15., 20., 25. a 30. obrobené vložce**. Pomocí software Micrometrics SE bylo zaznamenáno opotřebení na hřbetě nástroje. Testován byl vždy jen 1 břit na VBD, a pokud byla trvanlivost dostatečná (blížila se k 30 vložkám), test se již neopakoval (z důvodu vyššího počtu destiček vůči počtu vložek). Pokud byla trvanlivost (počet obrobených vložek) nízká, test se zopakoval, aby byl vyloučen jakýkoliv vnější vliv (tuhost soustavy, upnutí nehomogenita obráběného materiálu, apod.), včetně lidského faktoru.

4.1 Obráběcí stroj.

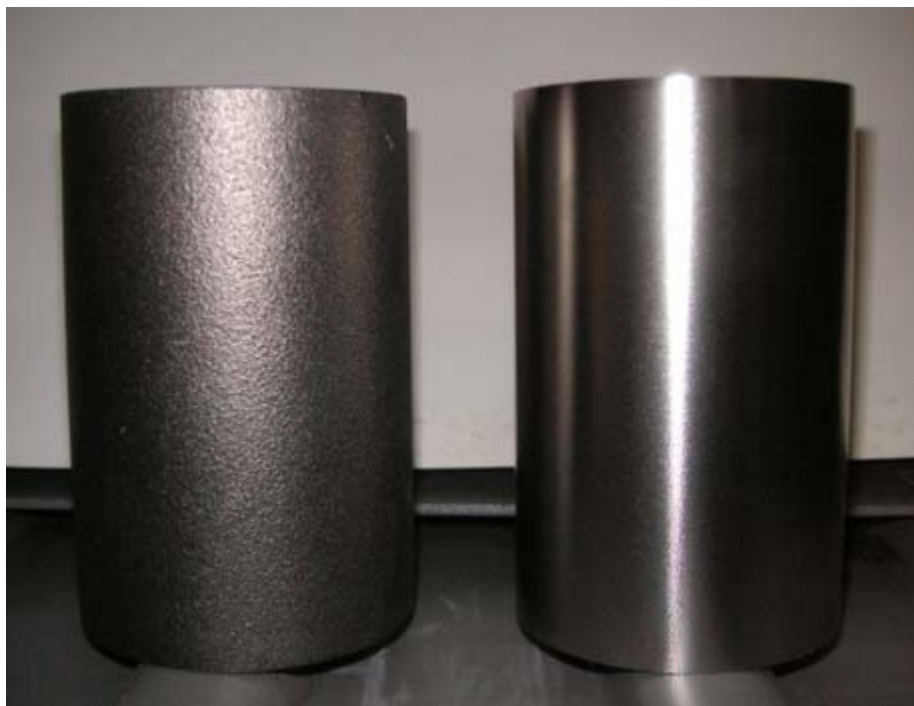
Pro obrábění byl použit obráběcí stroj CMM SLIVEN (Obrázek 33.), který je po částečné generální opravě. Je to stroj s tuhou konstrukcí, který poskytuje dostatečné upnutí. Stroj dosahuje max. 2000 ot.min^{-1} . Výkon elektromotoru je 6 kW.



Obrázek 33. Obráběcí stroj CMM SLIVEN.

4.2 Obráběný materiál.

Jako obráběný materiál byly zvoleny vložky do motorů automobilů (Obrázek 34.), které dodal zadavatel. Jedná se o materiál 25P. Důvodem bylo simulovat co nejvěrněji reálné podmínky v provozu. Jelikož byly vložky odlitkem (měly kuželový tvar), bylo nutné je nejprve obrobit na válcovou plochu a stejný průměr (Obrázek 34.). Pokud by se tak nestalo, nebyla by při testech zachována konstantní hloubka řezu a_p a tím i průřez třísky.



Obrázek 34. Obráběný polotovár (vložka motoru automobilu).
Obrobek surový (vlevo) a po úpravě (vpravo).

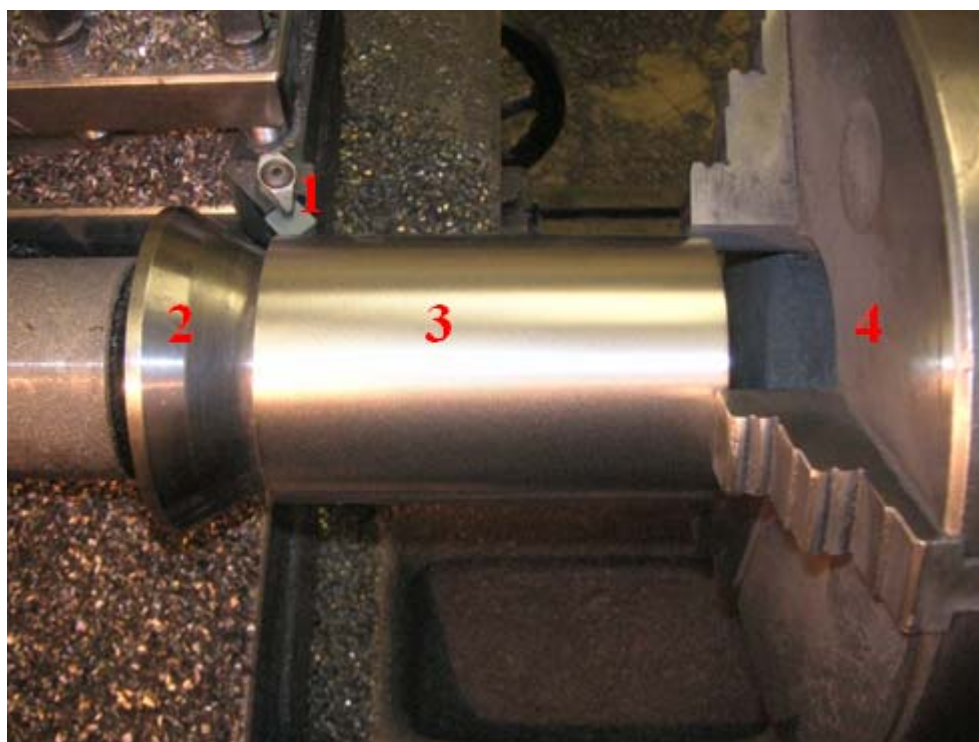
4.3 Použité nástroje a materiály.

4.3.1 Nástrojový držák.

V souladu s normou ISO 3685 byly na výběr nástrojové držáky se dvěma úhly nastavení ($\kappa_r = 45^\circ$ a $\kappa_r = 75^\circ$). Protože při úhlu nastavení 75° by nebylo možné odebrat dvě třísky (kolize s otočným hrotem v koníku), byl zvolen držák CSSNR 2525 M12-K s úhlem nastavení $\kappa_r = 45^\circ$ (Obrázek 35.). Pro upnutí tenké destičky byla přidána vložka pod upínku na stávající držák a pro upnutí kosodélníkové destičky byl zvolen držák DCLNR 2020 K12. Uspořádání obráběcí soustavy je na obrázku 36.



Obrázek 35. Nožový držák CSSNR 2525 M12-K.



Obrázek 36. Uspořádání obráběcí soustavy
1 – nožový držák s VBD, 2 – kuželový podpěrný hrot, 3 – obrobek, 4 – sklíčidlo

4.3.2 Obráběcí materiály.

Jako obráběcí materiál zadavatel dodal celkem 10 druhů řezné keramiky. 8 z nich bylo čtvercového tvaru s tloušťkou destičky 12 mm (SNGN 120712), 1 čtvercového tvaru s tloušťkou 7 mm (SNGN 120412) a 1 kosodélníkového tvaru (ENGN 130712). Označení řešitele je dopsáno na jednotlivých krabičkách. Jednotlivé destičky byly označeny jako:

označení dodavatele	označení řešitele
D210	D210
H D210	H_D210
D420	D420
D460	D460
D470	D470
W Si ₃ N ₄ , SiC	W
Ti KMS Sumitomo Zirkon	KMS_Ti (Ti)
D230 Sumitomo Reynolds	D230
571 (kosodélník)	571
Tenké destičky (oskřípané)	T

4.4 Řezné parametry.

Řezné parametry byly zvoleny na základě zkušeností a konzultací řešitelského týmu se zadavatelem. Cílem bylo se co nejvíce přiblížit reálným podmínkám v provozu.

otáčky vřetene $n = 1600 \text{ min}^{-1}$

průměr vložky = 84 mm

řezná rychlost $v_c = 422 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

posuv $f = 0,4 \text{ mm}$

hloubka řezu $a_p = 2 \text{ mm}$

počet třísek na jednu vložku - 2

obráběné délky vložek – 1. tříska 115 mm, 2. tříska 112 mm

úhel nastavení $\kappa_r = 45^\circ$

Pozn. Obrobené délky u materiálu 571 byly $l_1 = 105$ mm a $l_2 = 102$ mm, z důvodu odlišného tvaru destičky.



Obrázek 37. Vložka po obrobení oběma třískami.

4.5 Kriterium opotřebení.

Jako kritérium opotřebení bylo stanoveno po dohodě se zadavatelem $VB_{\text{max}} = 0,6$ mm (Obrázek 21.). Její hodnota byla zaznamenávána vždy po 1., 5., 10., 15., 20., 25. a 30. obrobeném kusu (vložce) na mikroskopu INTRACOMITRO (Obrázek 38.) a velikost vyhodnocována pomocí software Micrometrics SE.

4.6 Stanovení trvanlivosti.

Zadavatelem bylo dodáno 300 ks polotovarů na obrábění a 10 druhů destiček z řezné keramiky. Kriterium opotřebení bylo stanoveno 0,6mm (viz. kap. 4.5). Pokud nebylo po obrobení 30 ks vložek dosaženo kritéria opotřebení, byly testy pozastaveny a počet kusů do kritéria opotřebení byl aproximován, podobně jako potom hodnota trvanlivosti. Trvanlivost byla stanovována následujícím způsobem:

$$T = t \cdot p \text{ [min]}, \quad t = \frac{l_1 + l_2}{n \cdot f} \text{ [min]}, \text{ kde}$$

t – čas obrábění [min]

p – počet obrobených kusů

l_1 – délka obrábění první třísky [mm]

l_2 – délka obrábění druhé třísky [mm]

n – otáčky vřetene [min^{-1}]

f – posuv [mm]

4.7 Vyhodnocovací zařízení.

Vyhodnocení průběhu opotřebení bylo prováděno na mikroskopu INTRACOMICRO (Obrázek 38.) a velikosti jednotlivých opotřebení byly měřeny pomocí software Micrometrics SE.



Obrázek 38. Mikroskop Intracomicro.

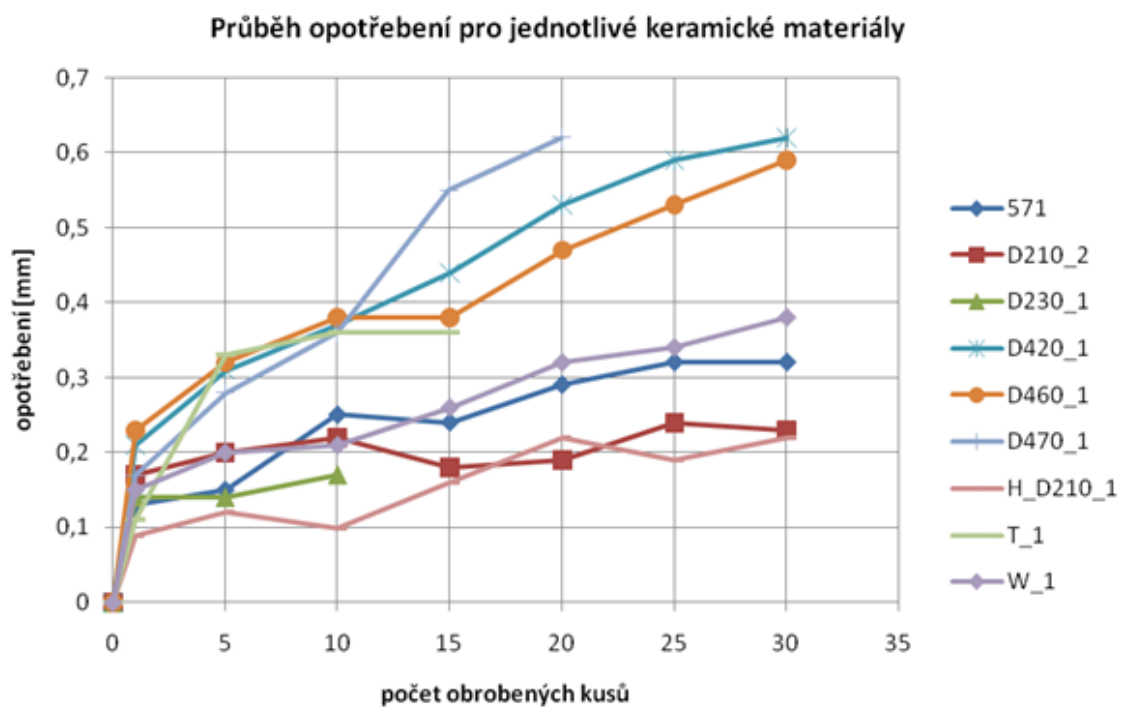
5. Testy vybraných vyměnitelných břitových destiček.

Po provedení zkoušek bylo provedeno vyhodnocení jednotlivých břitových destiček. Byl vyhodnocen počet kusů obráběných vložek, které daný materiál obrobil, dále byla vyhodnocena trvanlivost bříty pro každou VBD a průběh opotřebení v závislosti na čase obrábění (počtu obrobených ks). U materiálů, které nedosáhly kritéria opotřebení se prováděla aproximace (odhad pomocí polynomu 3. řádu) počtu obrobených kusů (času obrábění a trvanlivosti). V těchto grafech není vyhodnocován materiál označený jako Ti, protože nevydržel obrobit ani jednu celou vložku (ani jedna ze dvou testovaných destiček). Pokud bylo testováno z jakéhokoli důvodu více destiček stejného materiálu, je vždy uveden lepší výsledek (je to ve dvou případech a to D210 – došlo k lomu naší chybou a D 230). V následující tabulce jsou uvedeny výsledky jednotlivých měření. Sloupec vlevo označuje počet obrobených vložek, horní řádek druh materiálu a jednotlivá čísla v tabulce velikosti opotřebení na hřbetě nástroje. Pokud nedošlo k lomu, je červeně vyznačen počet obrobených kusů do max. opotřebení dle aproximace v grafech. Modře je vyznačena trvanlivost bříty do kritéria opotřebení.

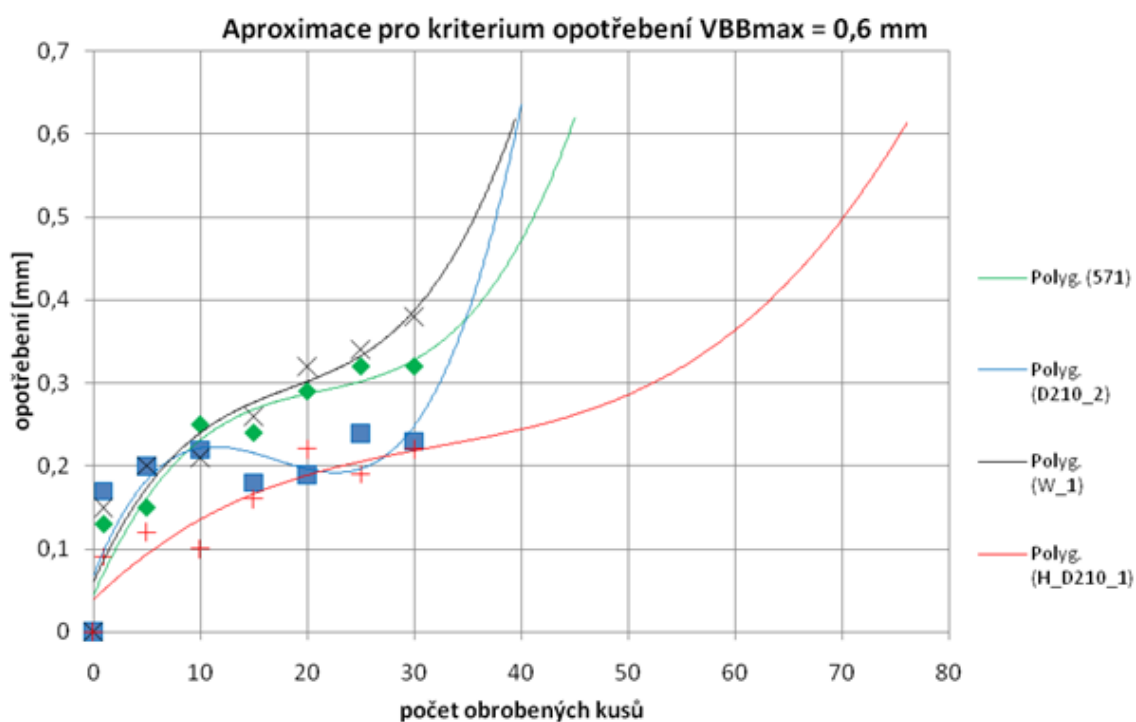
Tabulka 3. Velikosti opotřebení jednotlivých VBD.

	571	D210_2	D230_1	D420_1	D460_1	D470_1	H_D210_1	T_1	W_1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,13	0,17	0,14	0,21	0,23	0,17	0,09	0,11	0,15
5	0,15	0,2	0,14	0,31	0,32	0,28	0,12	0,33	0,2
10	0,25	0,22	0,17	0,37	0,38	0,36	0,1	0,36	0,21
15	0,24	0,18		0,44	0,38	0,55	0,16	0,36	0,26
20	0,29	0,19		0,53	0,47	0,62	0,22		0,32
25	0,32	0,24		0,59	0,53		0,19		0,34
30	0,32	0,23		0,62	0,59		0,22		0,38
[ks]	44	39	10	27	31	23	76	16	38
[min]	14,23	13,83	3,54	9,58	11,00	8,16	26,96	5,68	13,84

Na obrázku 39 je uvedena závislost opotřebení na počtu obrobených kusů vložek. Na každé vložce se odebraly dvě vrstvy s hloubkou řezu 2 mm. Na následujícím grafu (Obrázek 40.) je aproximace polynomu 3. řádu pro materiály, které nedosáhly kritéria opotřebení, a zároveň u nich nedošlo k lomu.

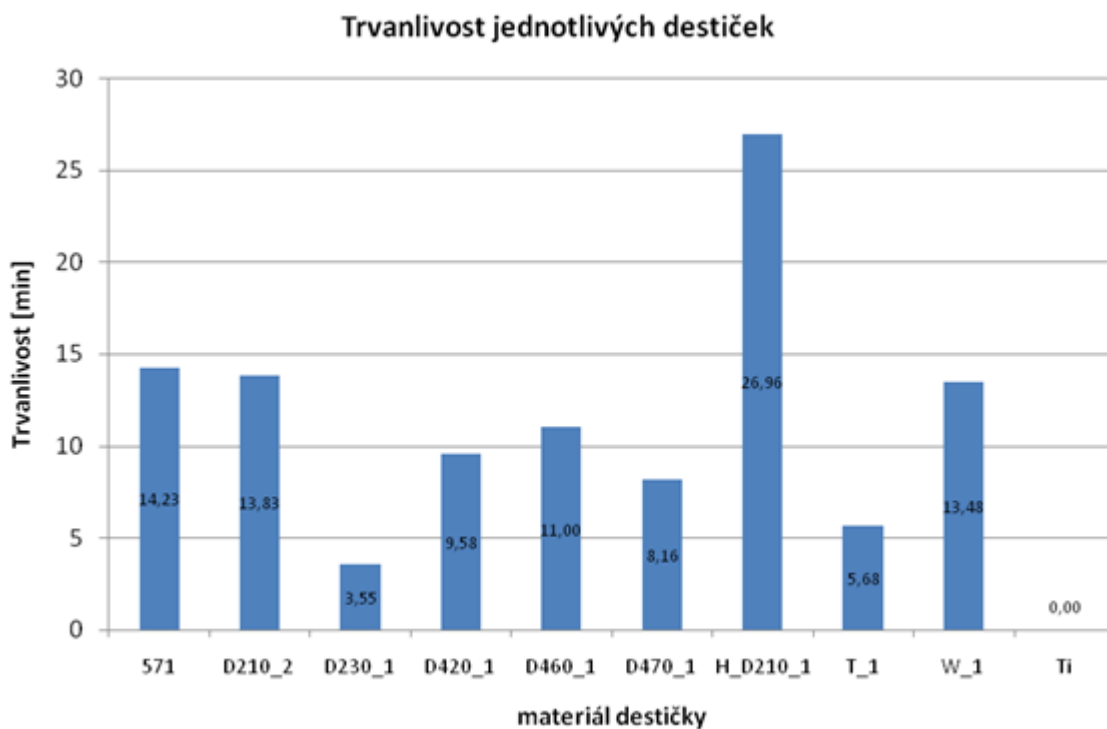


Obrázek 39. Závislost růstu opotřebení na počtu obrobků.

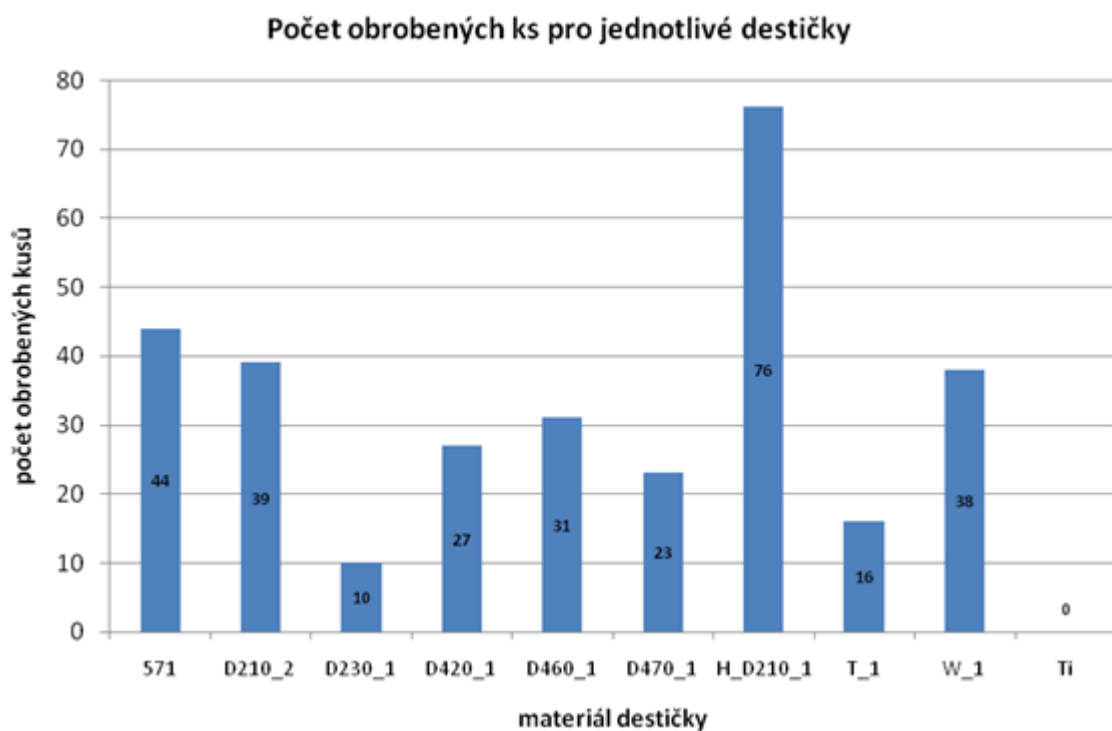


Obrázek 40. Závislost růstu opotřebení na počtu obrobků.

Pro přehlednost je v následujících grafech uvedena trvanlivost jednotlivých VBD (Obrázek 41.) a počet obrobených kusů (Obrázek 42.).

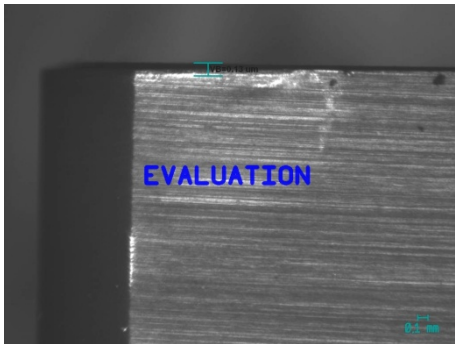
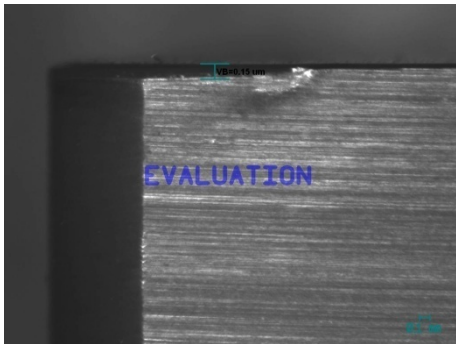


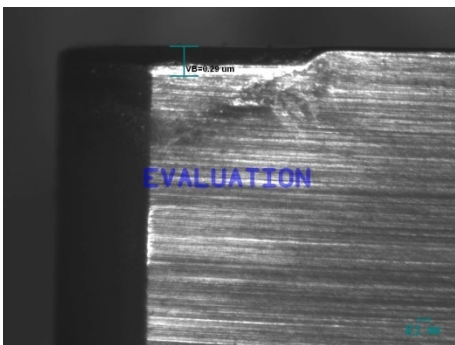
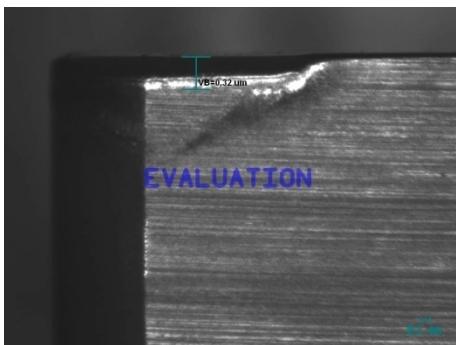
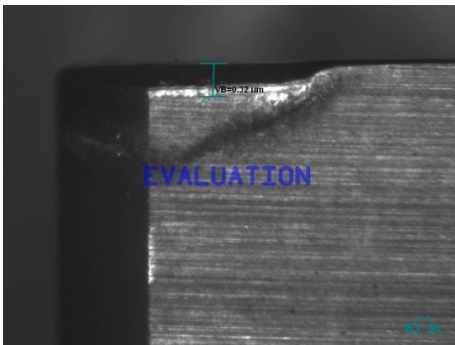


Obrázek 41. Trvanlivost jednotlivých destiček.

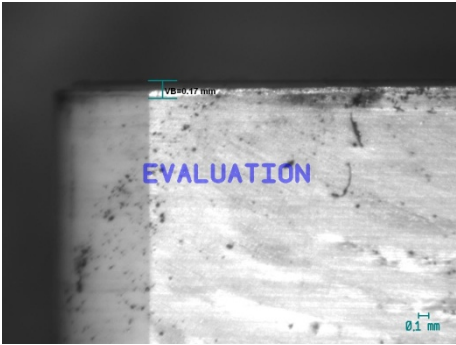
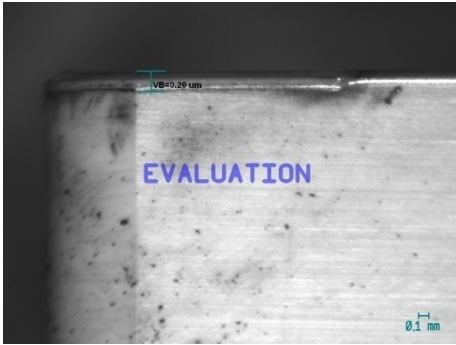
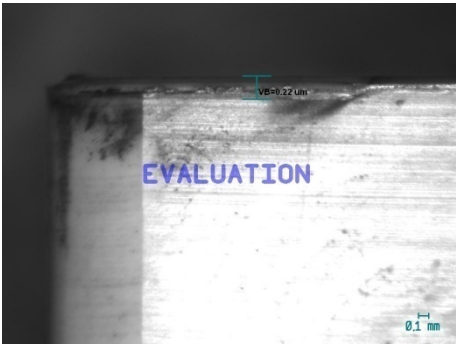
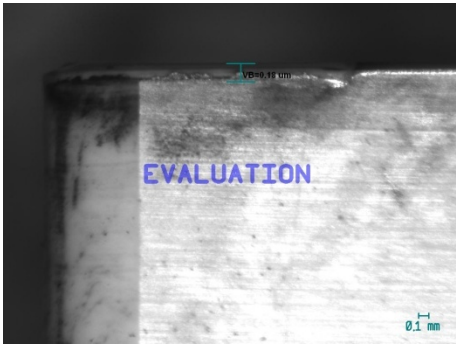
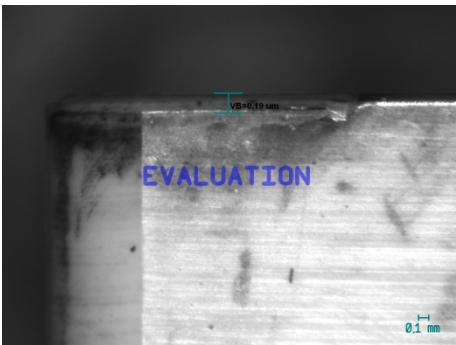
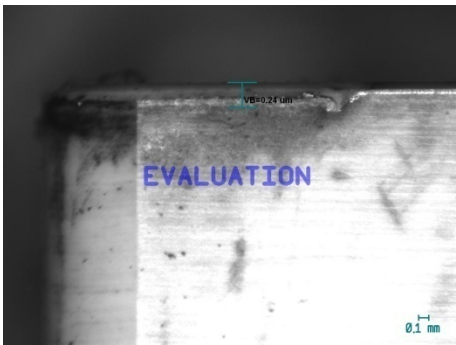
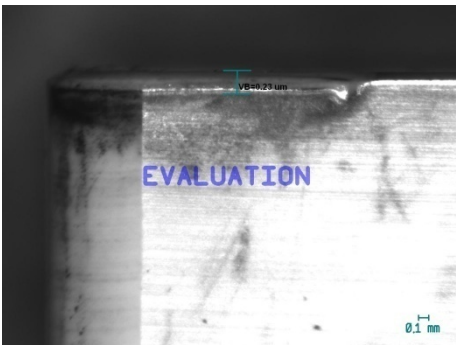
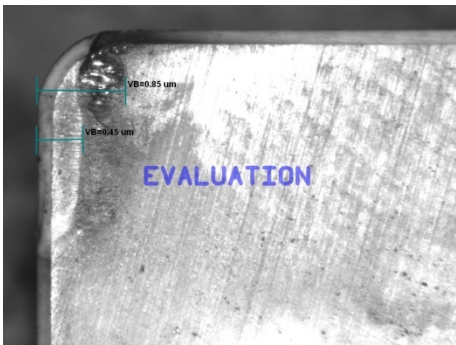


Obrázek 42. Počet obrobených kusů jednotlivými destičkami.

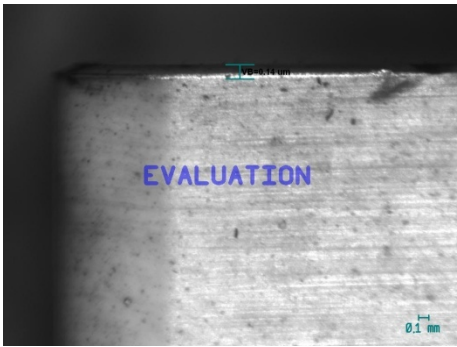
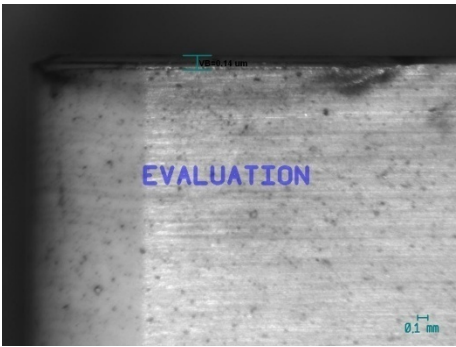
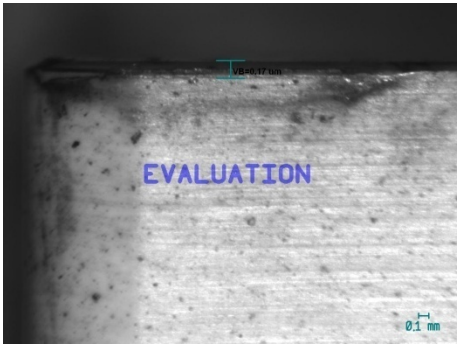
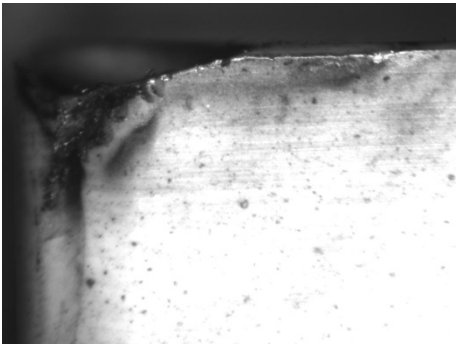
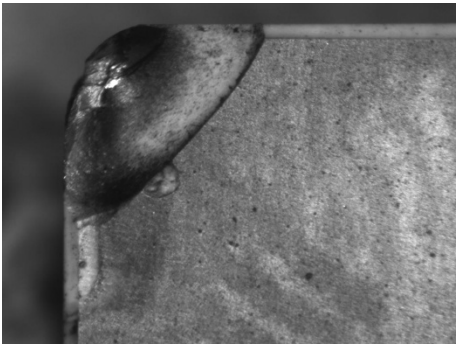
Snímky opotřebení materiálu 571.

Po obrobení 1. vložky	Po obrobení 5. vložky
	
Po obrobení 10. vložky	Po obrobení 15. vložky
	
Po obrobení 20. vložky	Po obrobení 25. vložky
	
Po obrobení 30. vložky	čelo
	

Snímky opotřebení materiálu D210.

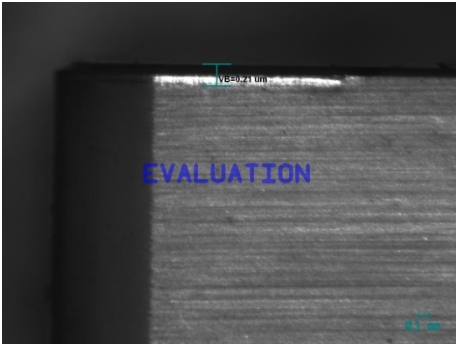
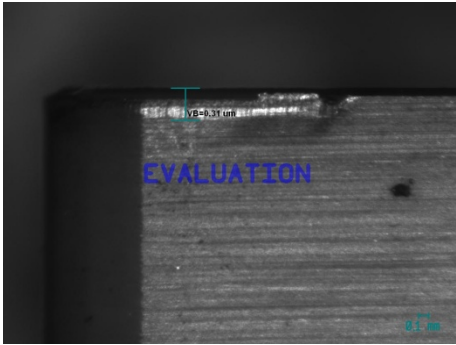

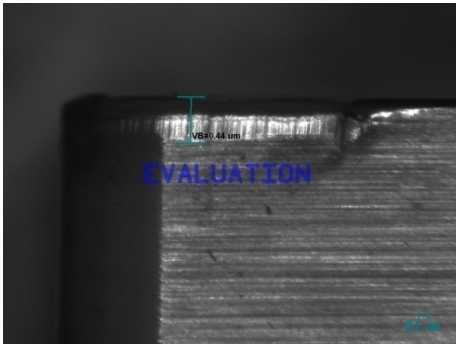
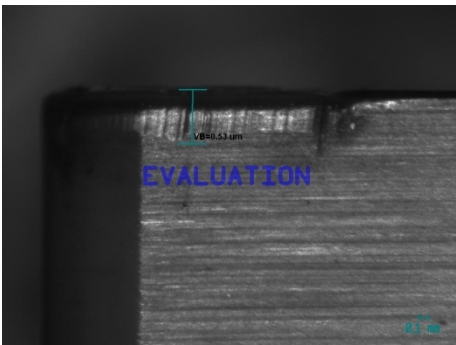

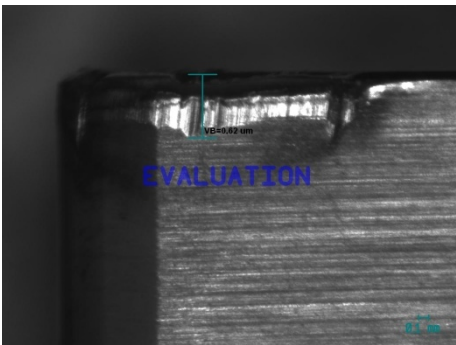
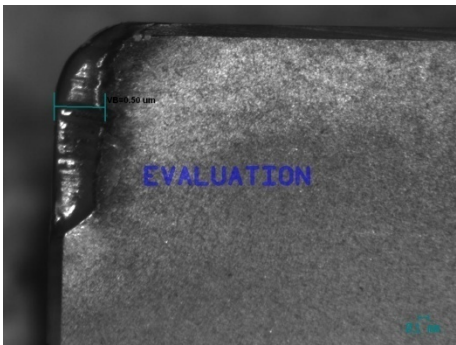
Po obrobení 1. vložky	Po obrobení 5. vložky
	
Po obrobení 10. vložky	Po obrobení 15. vložky
	
Po obrobení 20. vložky	Po obrobení 25. vložky
	
Po obrobení 30. vložky	čelo
	

Snímky opotřebení materiálu D230.

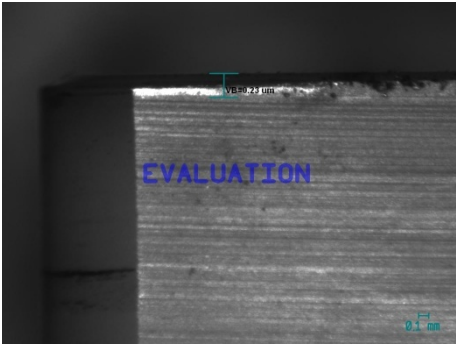
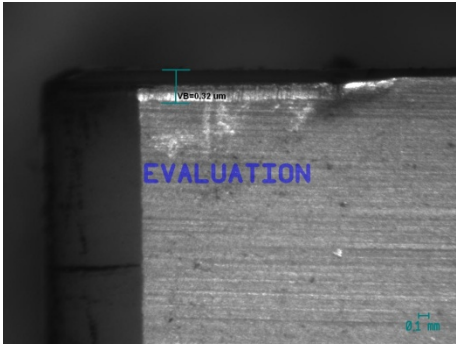
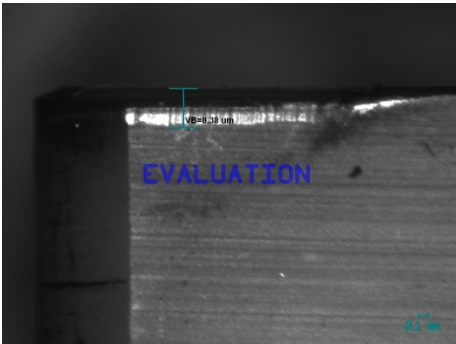
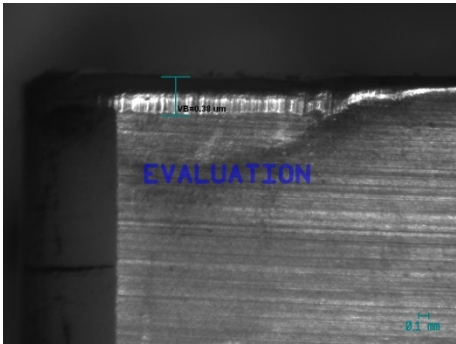

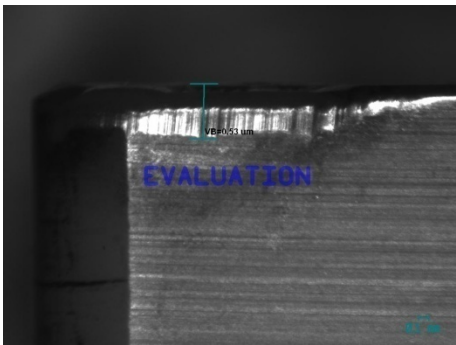
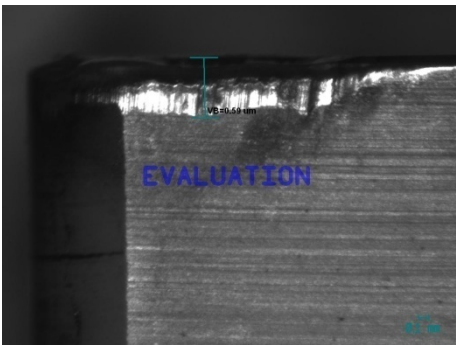
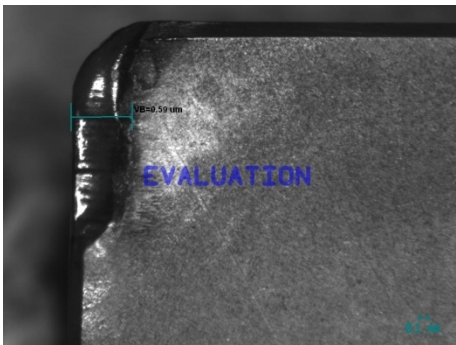
Po obrobení 1. vložky	Po obrobení 5. vložky
	
Po obrobení 10. vložky	Po obrobení 15. vložky
	
	čelo
	

Pozn.: Jedná se o první destičku označenou jako D_230_1

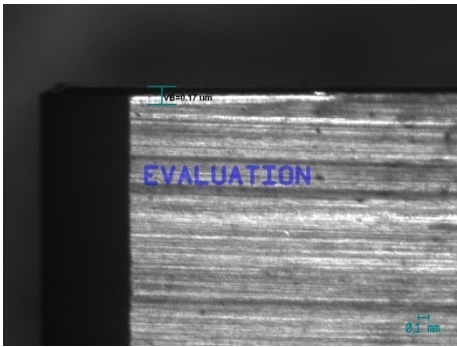
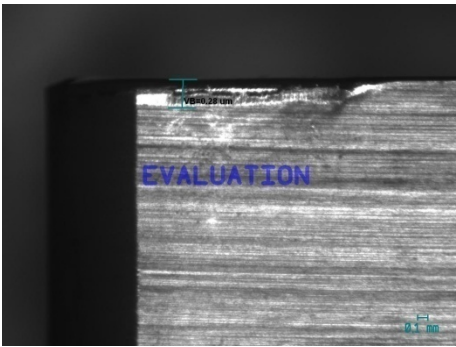
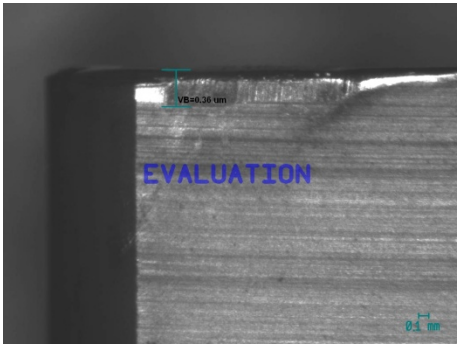
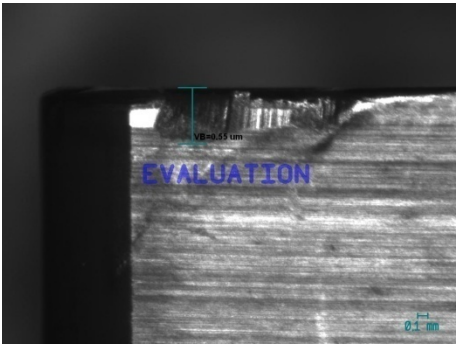
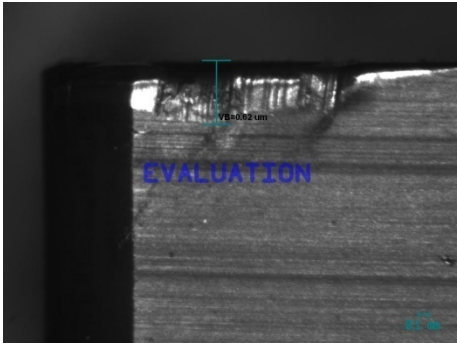
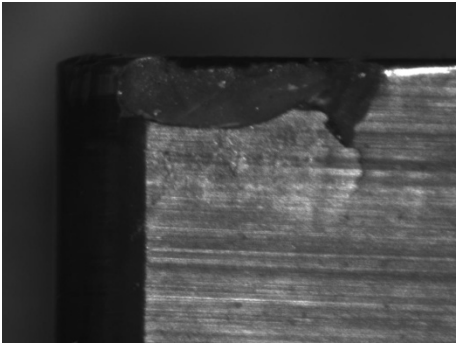
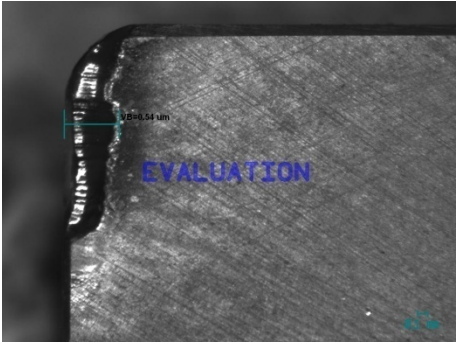
Snímky opotřebení materiálu D420.

Po obrobení 1. vložky	Po obrobení 5. vložky
	
Po obrobení 10. vložky	Po obrobení 15. vložky
	
Po obrobení 20. vložky	Po obrobení 25. vložky
	
Po obrobení 30. vložky	čelo
	

Snímky opotřebení materiálu D460.

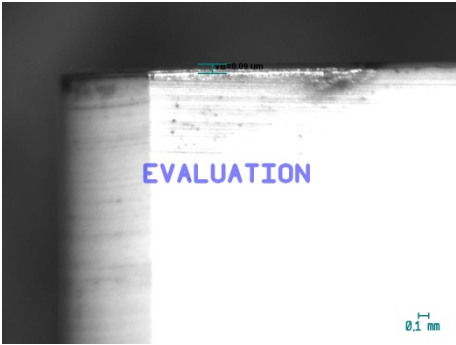
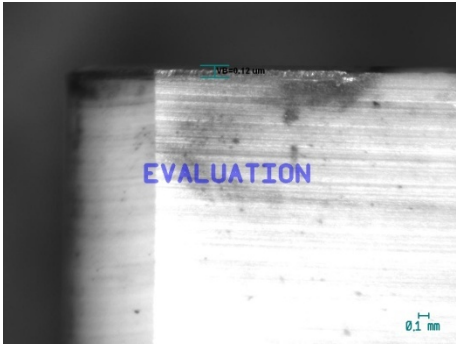
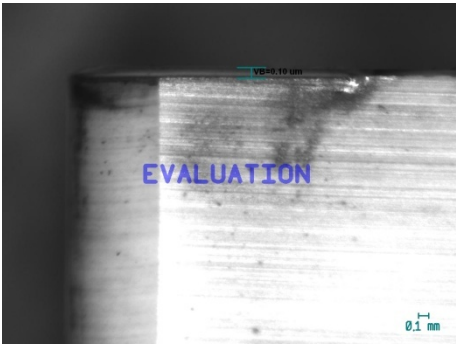
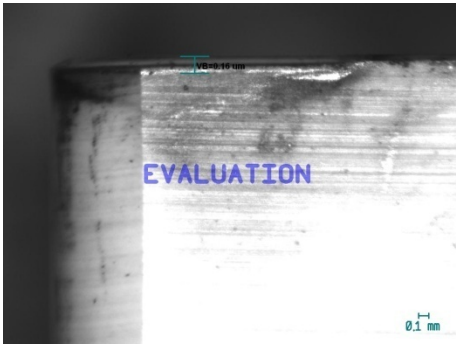
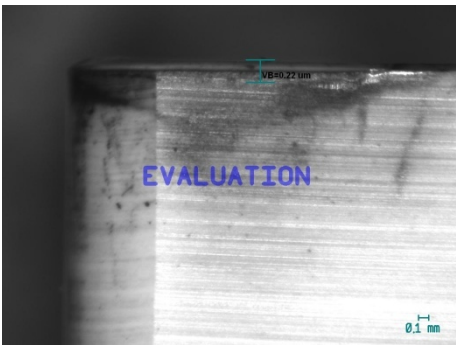
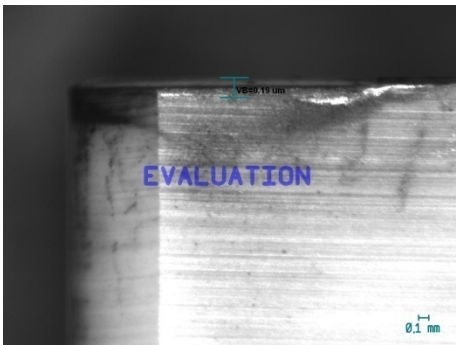
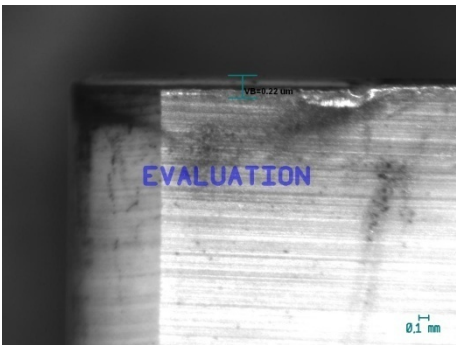
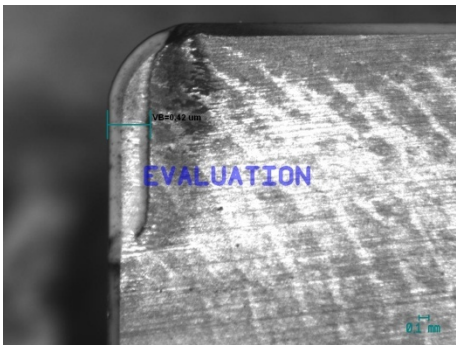
Po obrobení 1. vložky	Po obrobení 5. vložky
	
Po obrobení 10. vložky	Po obrobení 15. vložky
	
Po obrobení 20. vložky	Po obrobení 25. vložky
	
Po obrobení 30. vložky	čelo
	

Snímky opotřebení materiálu D470.

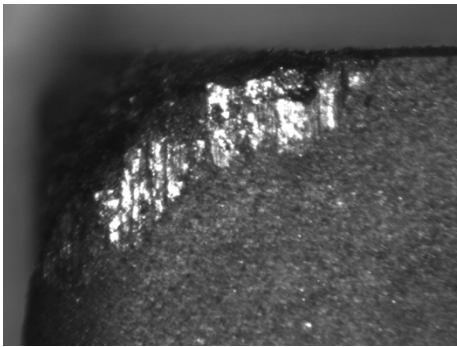
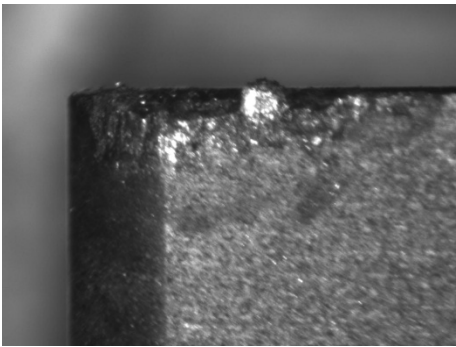
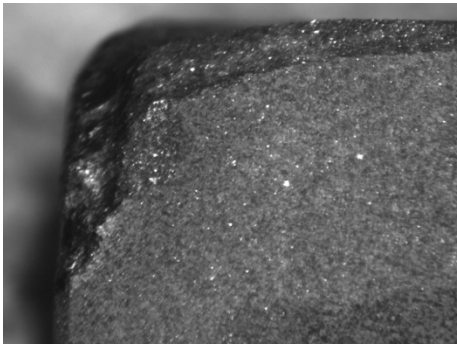
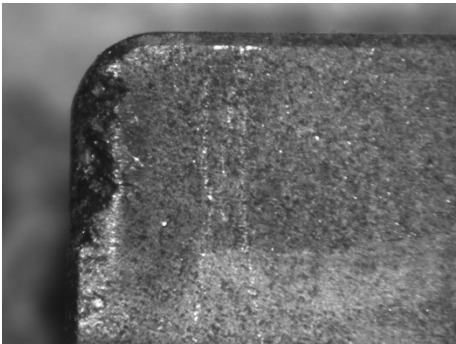
Po obrobení 1. vložky	Po obrobení 5. vložky
	
Po obrobení 10. vložky	Po obrobení 15. vložky
	
Po obrobení 20. vložky	Po obrobení 23. vložky
	
	čelo
	

Pozn.: Po obrobení 23. kusu došlo k lomu

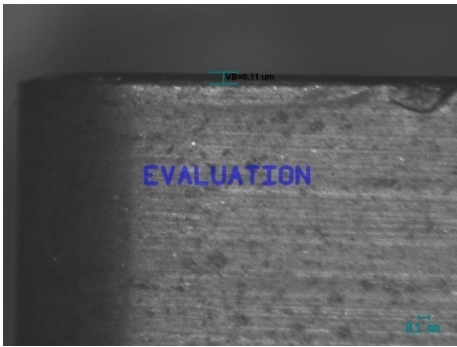
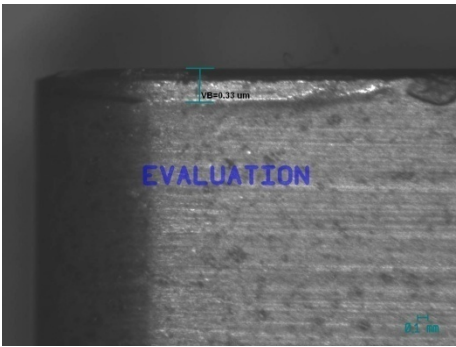
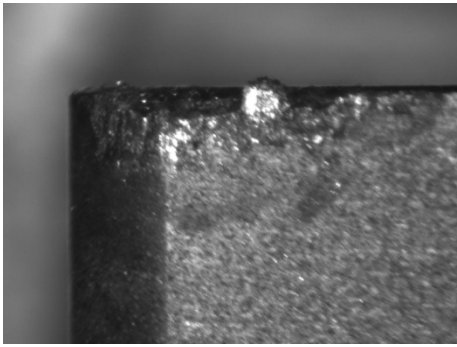
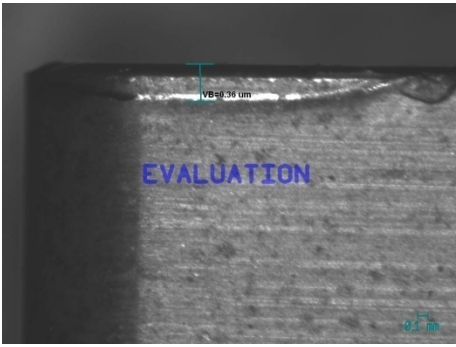
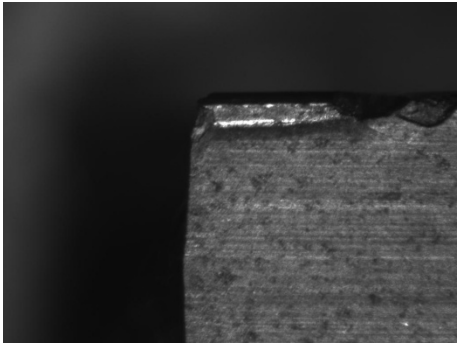
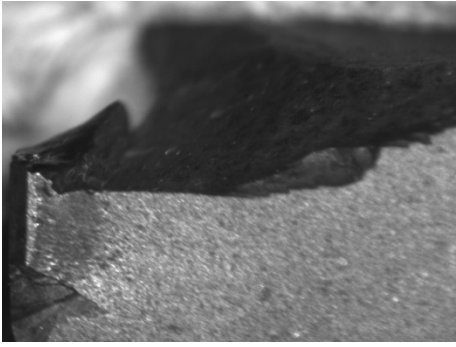
Snímky opotřebení materiálu H_D210.

Po obrobení 1. vložky	Po obrobení 5. vložky
	
Po obrobení 10. vložky	Po obrobení 15. vložky
	
Po obrobení 20. vložky	Po obrobení 25. vložky
	
Po obrobení 30. vložky	čelo
	

Snímky opotřebení materiálu KMS_Ti.

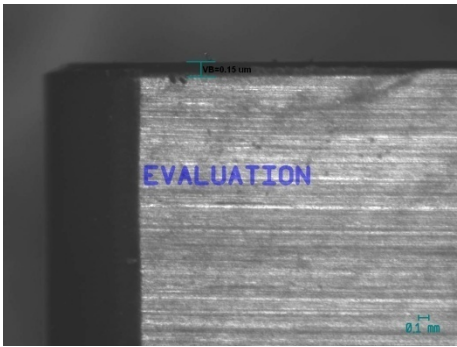
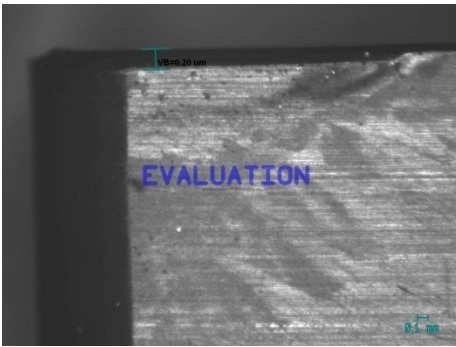
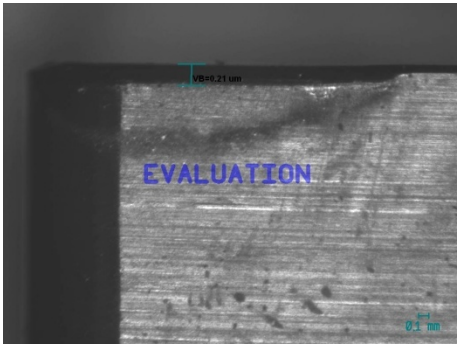
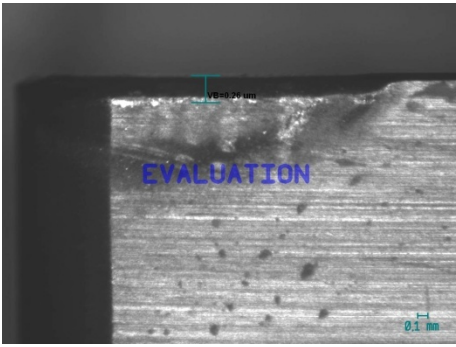
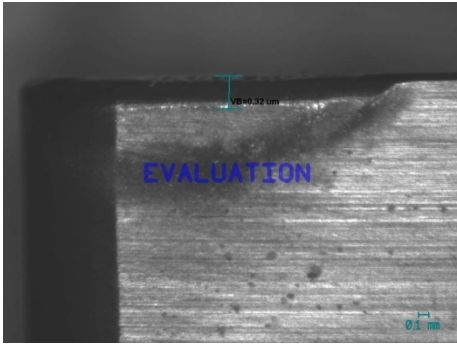
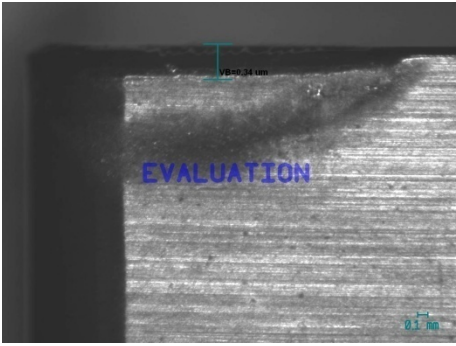
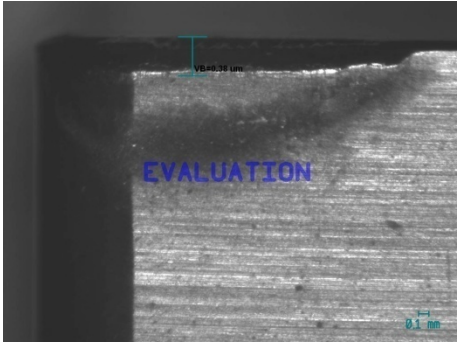
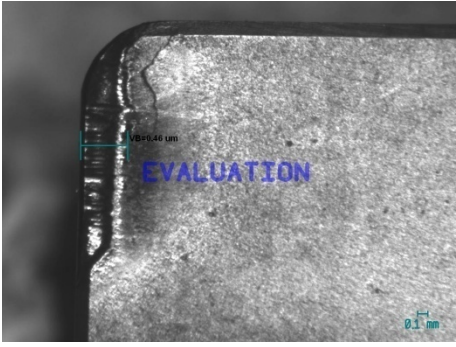
Po obrobení 1. vložky – 1. destička	Po obrobení 1. vložky – 2. destička
	
Čelo 1. destičky	Čelo 2. destičky
	

Snímky opotřebení materiálu T.

Po obrobení 1. vložky	Po obrobení 5. vložky
	
Po obrobení 10. vložky	Po obrobení 15. vložky
	
Po obrobení 16. vložky	
	
	čelo
	

Pozn.: Jedná se o jedinou tenkou destičku, po obrobení 16.kusu lom

Snímky opotřebení materiálu W.

Po obrobení 1. vložky	Po obrobení 5. vložky
	
Po obrobení 10. vložky	Po obrobení 15. vložky
	
Po obrobení 20. vložky	Po obrobení 25. vložky
	
Po obrobení 30. vložky	čelo
	

Fotky v originál kvalitě jsou na přiloženém CD.

6. Diskuze výsledků.

T – jediná tenká destička, která byla testována – možný vliv upnutí přes další upínku, které by nemuselo být až tak tuhé.

W – jako jedna z mála byla horká, že se nedala udržet v ruce.

D210 a H_D210 měly jiný odchod třísek všemi směry, ne tak jako ostatní, které odcházely pod úhlem 45° z místa řezu směrem ke koníku. Tento druh materiálu bychom doporučovali dále testovat, aby se potvrdila předpokládaná trvanlivost břitu (podle aproximace na obr. 40) až do kritéria opotřebení, které bylo zvoleno $VB = 0,6$ mm.

KMS_Ti – nevydržela vůbec nic, hned po 1 nebo 2 třískách se vyštípila. Byla „přivařena“ k obrobku, až se nedalo odjet se suportem. Absolutně nevhodná na obrábění tohoto typu materiálu a při těchto řezných parametrech. Jiskří jako prskavka.

D230 – vyštíplo se vždy čelo, jako kdyby se odloupla jedna vrstva. Doporučujeme otestovat destičky z tohoto materiálu z jiné šarže, aby se potvrdila nebo vyvrátila naše hypotéza.

7. Závěr.

Po vyhodnocení provedených testů vyplývá, že některé materiály řezných destiček jsou vhodné k obrábění dané litiny při daných parametrech. Jiné jsou vhodné s omezenou životností a ostatní nevhodné a zcela nevhodné.

Jednoznačným vítězem je materiál s označením H_D210 s trvanlivostí téměř 27 minut a obrobenými 76 ks (po aproximaci). Do druhé skupiny lze zařadit materiály s označením 571 (trvanlivost 14,23 min a počet obrobených kusů 44 – po aproximaci), D210 (trvanlivost 13,83min, počet kusů 39), W (trvanlivost 13,48 min, počet kusů 38). Dále lze seřadit materiály D460 (11 min, 31 ks), D420 (9,58 min, 27 ks), D470 (8,16 min, 23 ks), T (5,68 min, 16 ks). Na konci pořadí je materiál D230 (3,55 min a 10 ks). Zcela propadl a je nevhodný materiál označením KMS_Ti, který nevydržel obrobit ani jednu vložku a jeho trvanlivost je 0 minut.

Pro zpřesnění výsledků by bylo vhodné provést více testů a při různých řezných parametrech. Dále by bylo vhodné udělat nové testy pro materiály, které byly aproximovány (pro nízký počet vložek nebylo nyní možné) a zpřesnit texty u materiálů, které z různých příčin praskly. Např. u materiálu s označením T je možný vliv upnutí.

8. Seznam použité literatury.

- [1] ČEP, R. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu: Disertační práce. Ostrava: FS VŠB-TU Ostrava, 2005. 101 s.*
- [2] ČEP, R. – VRBA, V. *Přehled zkoušek řezných materiálů při přerušovaném řezu. In Strojářská Technológia 2004, IV. Medzinárodná vedecká konferencia pre doktorandov, školiteľov a pracovníkov z praxe. Súčtov: Žilinská Univerzita v Žiline, 2004. ISBN 80-8070-300-0.*
- [3] ISO 3685:1990. *Tool Life Testing with Single Point Turning Tools. 1990.*
- [4] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. 1. vyd. Brno: CCB Brno, 1995. 460 s. ISBN 04-246-86.*
- [5] JONŠTA, Z. – MAZANEC, K. *Hodnocení indentační únavy řezné keramiky. Materiálové inženýrství 3, 1996. 14 - 21 s.*
- [6] KROUPA, F. *Křehkost keramiky. Československý časopis pro fyziku, sekce A, svazek 32, č. 1, 1982. 1 - 25 s.*
- [7] JURKO, J. – ZAJAC, J. – ČEP, R. *Top trendy v obrábění. 2.část'-Nástrojové materiály. Žilina: MEDIA/ST Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.*
- [8] ŽIŽKA, J.: *Použití akustické emise ke sledování stavu řezného nástroje. Liberec : TU Liberec, 2003. 106. s ISBN 80-7083-687-1*
- [9] KOČMAN, K. - PROKOP, J.: *Technologie obrábění. Brno : Akademické nakladatelství CERM Brno, 2001. ISBN 80-214-1996-2.*
- [10] GAŠPÁREK, J.: *Dokončovacie spôsoby obrábania, ALFA Bratislava, 1979*
- [11] PŘIKRYL, Z. - MUSILÍKOVÁ, R.: *Teorie obrábění, SNTL Praha, 1982.*
- [12] PÍŠKA, M. - FOREJT, M. - HUMÁR, A. - JANÍČEK, D.: *Experimentální metody – syllabus. Brno : VUT Brno, 2003. 83 s.*
- [13] Samuels, J. - Tani, M. - Beiswenger, C. I.: *Measurements of crater wear using replica molds, CIRP 1/1976, pp. 77.*
- [14] BILÍK, O.: *Obrábění II. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1994. ISBN 80-7078-228-5.*
- [15] Giusti, F. - Santochi, M. – Tantussi, G.: *On line sensing of flank and crater wear of cutting tools, CIRP, 1/1987, pp. 41.*